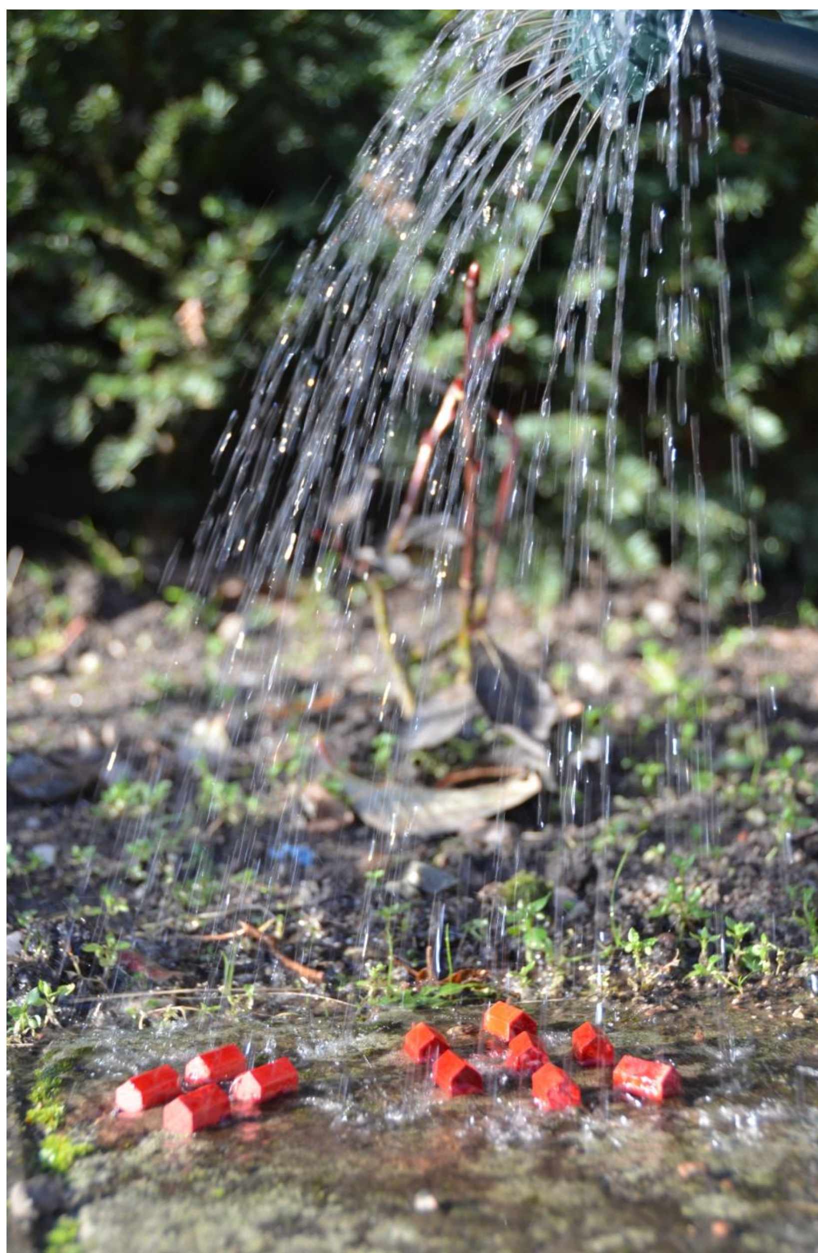
Småhusträdgårdarnas betydelse för klimatanpassning och dagvattenhantering i stadsregionen

Johanna Deak Sjöman



***SLUTRAPPORT** för anslagsnummer H09-0173-AKF*

VISIT…

LANZAROTE Caliente.COM

Småhusträdgårdarnas betydelse för klimatanpassning och dagvattenhantering i stadsregionen

Slutrapport till KSLA

Projekt H09-0173-AKF

Anslagstagare:
Johanna Deak Sjöman
Sveriges Lantbruksuniversitet
Område Landskapsarkitektur
Box 58
230 53 Alnarp

Innehållsförteckning

Förord 6
Ursprunglig ansökan och förändringar på vägen 7

1 Inledning 8
1.1 Projektets syfte och forskningsfrågor 8
2 Dagvattenhantering 9
2.1 Bakgrund 9
2.1.1 Klimat i förändring 9
2.1.2 Hårdgjorda ytor, urbanisering och bebyggelsemönster 11
2.2 Projektet – material och metod 13
2.2.1 Fallstudieområde 13
2.2.2 Bostadsområdesanalys 14
2.2.3 Avrinningsmodell 15
2.3 Resultat 17
2.3.1 Lomma 17
2.3.2 Lund och Staffanstorp 20
2.4 Diskussion 20
2.4.1 Bebyggelseform och rummen mellan husen 20
2.4.2 Vegetation 21
2.4.3 Hårda ytor – ogenomsläppliga och porösa markmaterial 22
2.4.4 Bostadsområdenas koppling till den övergripande klimatanpassningen 23
3 Mikroklimat 27
3.1 Bakgrund 27
3.1.2 Klimatet i stadslandskapet och vegetationens roll 28
3.2 Projektet – material och metod 29
3.2.1 Fallstudieområde 29
3.2.2 ENVImet klimatsimulering 31
3.3 Resultat 33
3.3.1 Vinterhalvår - vind 33
3.3.2 Sommarhalvår – sammanlagd strålningstemperatur och marktemperatur 34
4 Diskussion 37
5 Spridning av resultat 37
5.1 Konferenser, seminarium och workshops 37
5.1.2 Publikationer 38

Referenser 40

Förord

Rapporten redovisar resultaten från forskningsprojektet 'Småhusträdgårdarnas betydelse för klimatanpassning och dagvattenhantering i stadsregionen' som påbörjades i januari 2010. Det övergripande syftet för projektet har varit att med hjälp av klimatmodelleringar ta fram kvantitativa värden för de reglerande ekosystemtjänster som grönmiljöerna i våra bostadsområden bidrar till. Även en kvalitativ ansats har varit centralt i projektet med ett särskilt fokus på hur de mindre grönstrukturerna i vår vardagsmiljö påverkar en hållbar balans i ett större landskapsperspektiv. Projektet är även resultatet av ett gott samarbete med både svenska och internationella forskare, samt aktörer inom hållbart stadsbyggande i Sverige. Ett stort tack ska därför riktas till Susannah Gill vid the Mersey Forest Team i Storbritannien, Erik Johansson vid Arkitektur och byggd miljö, Lunds universitet, Viveka Lidström och Patrik Glivesson, Ramböll AB, Malmökontoret. Slutligen ett varmt tack till KSLA som möjliggjorde en projektidé men även satte fröet till en doktorsavhandling.

Ursprunglig ansökan och förändringar på vägen

En rad förändringar har genomförts i projektet och detta har på så sätt bidragit till att vissa punkter och inriktningar i slutrapporten skiljer sig åt från den ursprungliga ansökan. Den mest påfallande förändringen är att jag (ansökande) parallellt med starten för detta projekt fick möjligheten att påbörja en doktorsavhandling inom ämnesområdet och att jag samtidigt inledde ett samarbete med Lomma kommun, där jag representerade Sveriges Lantbruksuniversitet i att ta fram ett utvärderingsverktyg för Lomma Hamns gröna miljöer. Detta gav följd till att valet av fallstudieområde dirigerades om från Bulltofta, Malmö till Lomma Hamn i Lomma kommun samt bostadsområden i Staffanstorp och Lund. På så sätt har den del av studien som berör dagvattenhantering fördjupats och möjliggjort att resultaten visar en mer fullständig bild av hur olika bostadsområden inom ett avrinningsområde svarar på förändrad nederbörd. Samtidigt blir resultaten tillämpbara i ett avrinningsområde där samtliga kommuner drabbats hårt av ekonomiska skadekostnader till följd av återkommande översvämningar.

Nätverket med Lomma kommun, Internationella Miljöinstitutet Lunds universitet samt fem byggherreföretag i Lomma Hamn har även skapat en naturlig ”inkörsport”, som parallellt med forskningsbidraget från KSLA, har hjälpt koppla projektet till aktuella perspektiv när det kommer till grönskans roll i den hållbara stadsutvecklingen – inte minst gällande klimatanpassning. Regelbundna möten och workshops med samtliga aktörer inom plan- och byggprocessen för Lomma Hamn har därför fungerat som ett viktigt laboratorium för projektet. Dels därför att det möjliggjort en kontinuerlig återkoppling mellan projektet och pågående problematik inom hållbar stadsutveckling, och på så sätt hjälpt projektets frågeställningar att hålla en aktuell profil. Dels därför att resultaten från projektet har kunnat tillämpas i det utvärderingsverktyg som Lomma kommun (med medel från Delegationen för hållbara städer) utvecklat i samarbetet med SLU och Internationella Miljöinstitutet Lunds universitet.

På grund av den ändrade inriktningen av fallstudieområde och fokusgrupp (d.v.s. projektutvecklare av bostäder och bostadsområden) har medverkan från de boende inte motiverats inom tidsramen. Istället har projektet fokuserat på en regelbunden dialog med samtliga aktörer inom Lomma Hamns plan- och byggprocess samt representanter inom Lund och Staffanstorps kommuner. Samarbete med forskare inom det tidigare ASCCUE-projektet (Adaptation Strategies for Climate Change in the Urban Environment) i Storbritannien som omnämndes i den ursprungliga ansökan har medfört en studieresa och medverkande på en workshop i Liverpool i september 2010. Susannah Gill, vars doktorsavhandling delvis låg till grund för ASCCUE-projektet har även medverkat som medförfattare i den vetenskapliga artikel som berör dagvattenstudien i detta projekt (inskickad till tidskrift). Samarbetet med Teknisk Vattenresurslära på Lunds Tekniska Högskola omdirigerades till Ramböll AB i Malmö.

1 Inledning

Grön infrastruktur är det system av grönska och genomsläpplig mark som väver samman våra urbana landskap med den omgivande landsbygden. Den gröna infrastrukturen bidrar till en mångfald av ekosystemtjänster av vilka vi som människor är helt beroende av. Ser man på den gröna infrastrukturen som ett nätverk liknande människokroppens blodomlopp, eller ett infrastrukturellt transportnätverk, framgår det snart att även en liten förändring inom nätverket kan skapa konsekvenser för systemet som helhet. Denna komplexitet gör att även de mindre grönmiljöerna i t.ex. stadslandskapet blir intressanta att studera utifrån ett systemtänkande. Men alltför ofta uppmärksammas inte den gröna infrastrukturen utifrån sin helhet och som ett system – detta blir särskilt tydligt när kommunernas grönplaner, som i flesta fall enbart omfattar den formella grönskan, ligger till grund för den översiktliga planeringen (Lundgren Alm m.fl., 2004). Resultatet kan bli att endast 50% av den faktiska grönskan synliggörs i stadsplaneringen, då exempelvis ytor i anslutning till trafikanläggningar, övergiven mark, och privata trädgårdar inte tas med (Lundgren Alm, 2001). Eftersom dagens översiktliga planering måste ta hänsyn till en rad utmaningar som t.ex. berör klimatförändringar, urban expansion, klimatmål för sänkt energiförbrukning, en ökad biologisk mångfald, renare vattendrag och en hållbar dagvattenplanering etcetera, blir de ekosystemtjänster som den totala gröna infrastrukturen bistår med nödvändiga att inkludera och bör således inte förbises i en hållbar stadsutveckling.

Samma år som FNs klimatpanel publicerade sin fjärde syntesrapport, 2007, drabbades flertalet länder i norra Europa av omfattande översvämningar. I Storbritannien uppgick de totala skadekostnaderna efter sommarens översvämning till ca 3 miljarder GBP (Reuters, 2012). Ett år tidigare, 2006, hade ett av de statligt finansierade forskningsprogrammen i landet, ASCCUE-projektet (Adaptation Strategies for Climate Change in the Urban Envrionment), redovisat för hur städernas grönska kan bidra till den övergripliga klimatanpassningen. Med fokus på stadslandskapets värmeöeffekt och ytavrinning framgick att särskild hänsyn i dagens stadsplanering bör tas till just bostadsområden och den variation av grönska och marktäcken som existerar i trädgårdar och på bostadsgårdar (Gill m.fl., 2007). ASCCUE-projektet har på så sätt fungerat som en viktig språngbräda för detta projekt, där det övergripliga syftet har varit att undersöka hur grönstrukturen i våra bostadsområden bidrar till klimatanpassning i södra Sverige.

1.1 Projektets syfte och forskningsfrågor

Syftet för projektet har varit att studera hur grönstrukturen inom olika bostadsområden inverkar på stadslandskapets klimatanpassning. Ett väsentligt motiv har varit att med hjälp av klimatmodelleringar ta fram kvantitativa värden för de reglerande ekosystemtjänster som grönmiljöerna i våra bostadsområden bidrar till. Anledningen till en kvantitativ kalkyl har varit att det idag saknas beräkningsbara värden för städernas grönska i Sverige, och att bristen på detta ofta försvårar synliggörandet av grönskans ekosystemstjänster och begränsar kommunikationen av dessa till andra aktörer inom hållbar stadsutveckling, t.ex. kommun, byggherreföretag, underentreprenader och boende.

Projektet har utgått ifrån en klimatrelaterande problematik som är platsspecifik för fallstudieområdena, samtidigt som andra hållbarhetsmål också tagits i beaktande, som i fallstudien för mikroklimat (värmestrålning och vind). Den övergripande forskningsfrågan har varit: Vilken roll spelar grönstrukturen i stadslandskapets bostadsområden för hållbar utveckling och klimatanpassning? Delfrågor som berört dagvattenhantering har varit: Hur påverkar marktäcke och vegetation i bostadsområden den totala ytavrinningen från tätorten till avrinningsområdet? Skapar ett tätare bebyggt bostadsområde en större risk för ökad ytavrinning jämfört med ett villaområde? Delfrågor som berört mikroklimat har varit: Hur påverkar vegetationen i ett bostadsområde mikroklimatet med hänsyn till vindflöden och

värmestrålning? Går det att koppla vegetationens inverkan på mikroklimatet till lägre energiförbrukning i byggnaderna?

Projektet har varit inriktat på två forskningsspår, dels på dagvattenhantering, d.v.s. ytavrinning från bostadsområden vid olika nederbördsscenarios, och dels på vilken roll grönskan spelar för att skapa ett bättre mikroklimat, d.v.s. lägre strålningstemperaturer, bättre vindförhållanden etc. Eftersom dessa två inriktningar ämnesmässigt skiljer sig åt i val av fallstudieområde, metodik och slutliga resultat, kommer följande redovisning av projektet att delas upp i två delstudier: dagvattenhantering och mikroklimat. Presentationen av slutrapporten är upplagd med en introduktion i ämnet, koncentrerad resultatbeskrivning med en efterföljande diskussion kring resultaten samt dess värde i hållbar stadsplanering.

2 Dagvattenhantering

2.1 Bakgrund

Efter tre veckors ihållande regn och intensiva skyfall i juli 2007 överträffades alla tidigare nederbördsrekord i södra Sverige. Från Skåne till sydvästra Götaland steg nivån i flertalet vattendrag, och med kontinuerliga flödesstoppar drabbades många avrinningsområden av översvämningar. Det var framförallt de långvariga regnen med toppar av plötsliga och intensiva skyfall som skapade en överbelastning på de kommunala dagvattennäten. Enligt SMHI kunde vattenståndet i flertalet vattendrag mätas till flöden med återkomsttider på 50 till 70 år. Resultatet för åtskilliga kommuner var stora materiella skador på både byggnader och infrastruktur med ekonomiska påföljder och skadeståndskostnader långt över miljonklassen. Sedan 2007 har nästan årliga översvämningar inträffat runt om i landet till följd av ihållande regn, snabba flöden, och en dagvattenhantering baserat utifrån traditionella ledningssystem.

Översvämningsproblemen har bidragit till att flertalet kommuner idag satsar på att bygga ut de kommunala ledningssystemen, ofta kompletterat med större dammar i tätorternas periferi. Uppmärksamhet har också riktats mot den ökade andelen hårdgjorda ytor i det urbana landskapet där ogenomsläppliga markmaterial, som asfalt, betong och natursten ökar ytavrinningen och förhindrar en naturlig och trögare infiltration av regn- och smältvatten. Dagvattnet når istället recipienten i stora volymer och med en hög hastighet. För att minska denna effekt, har flertalet kommuner och byggföretag infört olika miljöprogram och certifieringssystem vid t ex nyexploatering och utbyggnad med hänvisningar till ett lokalt omhändertagande av dagvatten med hjälp av växtlighet och genomsläppliga markmaterial.

Men även inom den befintliga bebyggelsen och i förkommande bostadsområden spelar hållbara strategier till att minska ytavrinningen vid kraftiga skyfall en viktig roll. Detta blir särskilt tydligt när bostadsmark ofta utgör närmare 30-40% av tätortens totala yta. Hur vegetation och marktäcken inom våra bostadsområden är fördelat har på så sätt en direkt koppling till den sammanlagda urbana ytavrinningen. Villaområdet, kvartersgården i innerstaden, och småhusträdgården skapar därför en viktig förutsättning för en hållbar översvämningsplanering sett utifrån ett större landskapsperspektiv. Med hänsyn till en mer övergriplig klimatanpassning, som innefattar både nutida och framtida nederbördsscenarios, blir våra bostadsområden därför intressanta marker att vidare utforska.

2.1.1 Klimat i förändring

En normal nederbördsmängd i Skåne skulle under sommarhalvåret motsvara ett medelvärde på 56-70mm per månad under juni-juli-augusti. Istället kom den totala nederbördsmängden för sommaren 2007 att uppnå ca 400mm (SMHI, 2010). I flertalet skånska kommuner steg grundvattennivån och markerna mättades i avrinningsområdena, utjämningsmagasinen fylldes och de äldre dagvattenledningarna överbelastades. Översvämningar blev ett faktum och

händelseförloppet gav en föraning till de utmaningar vi har att vänta framöver med hänsyn till effekterna från den globala klimatförändringen (fig. 1.).



Fig. 1. Översvämning i Lomma kommun efter sommarens skyfall 2007. Flygbildsfoto: Kustbevakningen

Enligt FN:s klimatpanel 2007 (Intergovernmental Panel on Climate Change)och från SMHIs klimatmodelleringsenhet i Rossby, kommer den globala temperaturökningen på 1,8°C – 4,0°C bidra till en ökad årlig nederbördsmängd i norra Euorpa. Det är framförallt under vinterhalvåret som nederbördsmängden förväntas bli större (SOU 2007:60; Dahlström 2006), men även under sommarmånaderna kan vi vänta oss perioder med kraftiga skyfall, s.k. extremnederbörd. Samtidigt som årsnederbörden beräknas öka med 10-15% till år 2100, befaras också dygn med just extremnederbörd att öka med upp till 20% (SMHI, 2010). Det är framförallt vattennivåerna i sjöar och vattendrag som kommer att påverkas av de långvariga regnen, medan extremnederbörden kommer att skapa en överbelastning på ledningssystemen i tätorterna (Sahlén, 2011). Idag är de flesta ledningsnäten anpassade till s.k. tioårsregn, d.v.s. ett regn som är så kraftigt att det enbart förekommer var tionde år. Chanserna för ett tioårsregn att inträffa under de närmsta 10 åren är 63% enligt SMHI (SMHI, 2010). Regnet som föll i Skåne under juli 2007 kan liknas ett 80-årsregn (Edman, 2009).

Klimatförändringarna innebär också höjda havsnivåer. För Sveriges räkning kommer detta att bli mest kännbart i Skåne längst utmed kusterna eftersom man till skillnad från resterande landet genomgår en landsänkning på -0,5mm/år (Wastenson och Curt, 2002). Samtidigt visar dagens klimatforskning på en beräknad vattenståndshöjning på ca 3mm årligen i Skåne (Persson m.fl., 2012). Då de extrema vattenstånden beräknas återkomma allt oftare per tioårsperiod, kan de högsta högvattenstånden hamna mellan 1,88 – 2,29 m (SMHI, 2009). I slutet av seklet kommer detta bland annat att innebära stora risker för erosion längs med de skånska kuststräckorna. Dagens kustlinje kommer även att dra sig tillbaka med 50-90 meter under de närmsta hundra åren, med mest kännbara effekter i Skanör och Falsterbo, och längs kuststräckan utmed Öresund (Blomgren och Hansson, 1999).

Med klimatförändringarna kommer risken för översvämningar att öka påtagligt framöver. Särskilt när extrema nederbördsperioder sammanfaller med höga vattenstånd i t ex sjöar, vattendrag, eller hav. För de sydligaste delarna av Sverige innebär kommande havsnivåhöjning ytterligare en prövning för dagens klimatanpassning då ökade vattenmängder inte bara beräknas komma uppifrån i form av nederbörd utan också från sidan i form av en lateral påtryckning från havet. Sedan några år tillbaka genomför en rad kommuner s.k. översvämingskarteringar för att nå en överblick av de områden som är av hot att läggas under vatten när vattenflödena uppnår en viss nivå. Insatsen hör till den riskanalys som ingår i Översvämningsdirektivet (2007/60/EC), fastställt av EU 2007 och som riktar sig till samtliga avrinningsområden inom Europa att förutom kartläggning av områden som löper risk för översvämning också utarbeta förslag till förebyggande åtgärder. Analysen kommer att hjälpa klarlägga konfliktområden för befintlig men även för planerad bebyggelse, hot mot människors hälsa, naturvärden, samt förutse framtida skadekostnader. Arbetet ska vara färdigställt år 2015. Redan idag går det dock att avgöra att framtidens översvämningar kommer att framkalla skadekostnader på ungefär 7,7 – 15 miljarder Euro vid sekelskiftet (Ciscar et al., 2009).

2.1.2 Hårdgjorda ytor, urbanisering och bebyggelsemönster

Trots att extremväder och klimatförändringar ökar förutsättningarna för översvämningsolyckor i framtiden, så hänger en mycket stor del av problematiken samman med hur våra tätorter byggs och används. Dels planeras och byggs det fortfarande på marker som löper stor risk för översvämning och dels förorsakar den befintliga bebyggelsen, genom den stora andelen hårdgjorda ytor, en gränsöverskridande översvämningsproblematik som även drabbar områden utanför tätortens geografiska gräns (RIBA, 2011). En studie i Storbritannien har visat på hur ytavrinningen kommer att öka med 80% i slutet av seklet vid extremväder med kraftiga skyfall just p.g.a. stadslandskapets hårdjorda skikt (Gill, 2006).

Idag består ungefär 47% av landets tätortsbebyggelse av bostadsmark (SCB, 2010). Denna procentuella fördelning varierar mellan länen där den största andelen ligger i Stockholms län med 54%, och den lägsta i Dalarnas län med 40%. Vidare pekar statistiken på att friliggande småhus utgör den största beståndsdelen av bostadsbebyggelsen i landet, d.v.s. nästan 70% (SCB, 2010). Slutsatsen blir att en större andel mark inom tätortsbebyggelsen utgörs även av trädgårdar och mindre grönmiljöer, där grönskan och genomsläppliga markmaterial i sin tur har en betydande effekt på tätortens dagvattenhantering i helhet. Denna koppling uppmärksammades i Storbritannien 2007, då man i likhet med södra Sverige drabbades av storskaliga översvämningar till följd av långvariga regn och kraftiga skyfall. Den brittiska regeringen tillsatte en särskild utredning för att klarlägga vilka orsaker, förutom den stora nederbördsmängden, som förorsakade att förödelsen blev så omfattande. Man kom fram till att just den ökade andelen hårdgjorda och ogenomsläppliga material ökat markant i bostadsområden och att detta utgjorde en viktig del av den övergripande problematiken (Hansard, 2008) (fig. 2.). En lagstiftning om planeringstillstånd och bygglov vid anläggning av ogenomsläppliga markmaterial motionerades därför under 2008 och trädde i kraft i oktober. I Sverige har ingen ny lagstiftning trätt i kraft som tar upp liknande problemställningar, en del kommuner försöker istället att påverka tomtägare i t ex villakvarter att minska ytavrinningen genom att erbjuda en skattejämkning om man kan visa på hur man omhändertar dagvattnet inom tomtgränsen. Detta sker exempelvis i Lomma kommun, som drabbades hårt av översvämning 2007 (Nilsson, 2012). Eftersom processer och rutiner inom planeringslagstiftningen i allmänhet rör byggnation och förändrad markanvändning blir dock befintliga trädgårdar och grönmiljöer inom bostadsbebyggelsen svåra att hantera i den övergripliga dagvattenplaneringen (Lindholm, 2012).

Andra metoder att styra eller åtminstone vägleda en hållbar dagvattenhantering genomförs idag vid flertalet nybyggnationer och exploateringar. Det kan antingen vara direkt angivet i kommunens exploateringsavtal och detaljplaner, eller ingå i miljöhandlingsprogram och i

miljöcertifieringssystem som särskilt riktar sig till byggherrar och byggföretag (t.ex. Miljöprogram Syd, BREEAM, LEED). Eftersom befolkningsantalet årligen ökar i landets storstadsregioner, så byggs även nya bostadsområden. Trots att bostadsbyggandet trappats ner något p.g.a. senare års finanskris, så förutses ändå ca 80 000 nya bostäder att byggas i Stockholm före 2030 och ca 700-800 bostäder årligen framöver i Malmö (Helt nytt boende, 2012; Stadsbyggnadskontoret Malmö, 2009). Sammanfattningsvis kommer bostadsmarken utgöra en större del av tätorternas area även i framtiden.



**Fig. 2. Hårda ogenomsläppliga markmaterial har ökat i popularitet de senaste åren och många tomtägare väljer idag att stensätta stora delar av sina uppfarter eller uteterasser.
Foto: Johanna Deak Sjöman**

För flertalet av de nya bostadsområdena försöker kommunerna idag att strategiskt planlägga på redan exploaterad mark, exempelvis tidigare industrimark, nerlagda hamnområden, eller inom befintliga bostadsområden. Detta är ett steg att försöka undvika att bygga på orörd naturmark eller på bördig jordbrukmark, och för att minska bilberoendet genom att tillförse bostadsområdena näraliggande service och arbetsmöjligheter. Förtätningen av våra storstäder, d.v.s. nybyggnation inom befintlig bebyggelse, ses därför också som en viktig ansats i en hållbar utveckling av flertalet kommuner (Leifman m.fl., 2009). Men för många byggherrar medför ett förtätat byggnadsförfarande också en utmaning kring hur hållbara dagvattenlösningar ska

genomföras – särskilt när uppfattningen över ytans storlek styr och kopplingen till den öppna dagvattenhanteringen medför associationer till öppna ytor med synligt vatten, dammar och svackdiken (Christiansson m.fl., 2011). När vi planerar för en kompakt stad blir konkurrensen om ytornas funktioner stark, inte minst när den öppna dagvattenhanteringen skall tillgodoses jämte en rimlig kvot för bilparkering, tillgänglighetsprinciper, lekplatser, miljörum etc.

2.2 Projektet – material och metod

2.2.1 Fallstudieområde

Höje å avrinningsområde har varit fallstudie för detta projekt (fig.3). Avrinningsområdet har en historik av översvämningar som sträcker sig långt tillbaka i tiden, där Lomma kommun särskilt har drabbats svårt. Den senaste incidenten år 2007, förorsakades samtliga kommuner i avrinningsområdet med stora materiella skadekostnader på grund av översvämningar. Avrinningsområdet består i ca 60% jordbruksmark, där dikningsföretagen under de senaste 150 åren påverkat den totala hydrologiska balansen i området. Även Höje å som vattendrag har genomgått radikala förändringar, med uträtningar som resulterat i att ån idag endast utgör hälften av sin ursprungliga sträcka – d.v.s. 95km av tidigare 192km (Krook, 1999). Ån har sin upprinning i Häckebergasjön med slutlig recipient i Öresund.



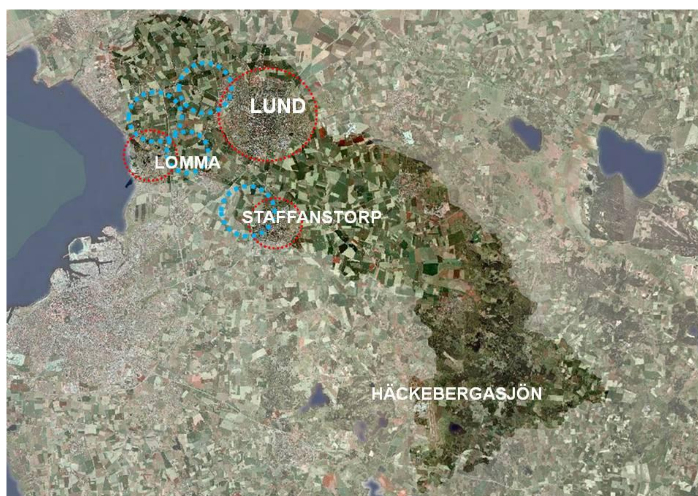


Fig. 3 och 4. Höje å avrinningsområde med tätorterna Lund, Lomma och Staffanstorp. De blå cirklarna indikerar områden som drabbades av översvämning sommaren 2007. Flygbild och GISkarta: © Lantmäteriet, i2012/901, © SMHI

Lund, Staffanstorp och Lomma utgör de största kommunerna inom avrinningsområdet (fig. 4). Sedan översvämningen 2007 ingår samtliga i Höje å dagvattengrupp där framförallt kompetensbehöriga inom kommunens VA-avdelningar medverkar i en mellankommunal dialog i syfte att förebygga liknande incidenter i framtiden (Höje å vattenråd, 2012). Förödelsen var starkast i de nedre delarna av avrinningsområdet, och Lomma kommun drabbades av en ekonomisk skadekostnad på ca 11 miljoner kronor (Nilsson, 2012). Det var framförallt dikningsföretagen öster om tätorten som låg till grund för översvämningen i Lomma. Eftersom Lomma ligger sist i avrinningskedjan, påverkas kommunen även av ytavrinningen från t.ex. Lunds tätort, som topografiskt sett ligger högre upp än både Lomma och Staffanstorp. Med en nivåskillnad på 79 m inom en sträcka på 6 km har Lund också en av de största topografiska lutningarna inom en stadsgräns i Sverige, något som påverkar avrinningen ner mot Höje å som utgår den södra kommungränsen.

Kommunerna i avrinningsområdet präglas också av en stark urbanisering och tillväxt med en ungefärlig befolkningsökning på 2% årligen i Lund, Staffanstorp och Lomma. Fram till år 2017 beräknas den totala befolkningsökningen uppgå till 11% (Länsstyrelsen Skåne län, 2009). Därför byggs ett flertal nya bostadsområden i kommunerna, dels på gammal industrimark som i Lomma Hamn, men även på oexploaterad jordbruksmark som t.ex. Brunnshög i Lund. Trots att enfamiljshusen i typiska villakvarter utgör en attraktiv marknad för byggföretagen, så har byggandet av mer kompakta bostadskvarter ökat de senare åren (Berglund m.fl., 2005).

2.2.2 Bostadsområdesanalys

Idag utgör bostadsområdena ca 40% av den totala arealen inom samtliga tätorter. Utav dessa utgör villaområden ca 85% i Lomma och Staffanstorp, och runt 50% i Lund. Flerbostadshusen och mer tätbebyggda bostadsområden bildar 15% utav den totala bostadsbebyggelsen i Lomma och Staffanstorp, och 50% i Lund. CAD-ritningar kopplat till fastighetskartor från samtliga kommuner har legat till grund för denna beräkning. I villaområden utgör huskropparna ca 30% av ytan i varje tomt. I de mer kompakta bostadsområdena är liknande fördelning ca 40%.



Fig. 5. Flygfoto över de sex testområden som ingick i studien. © Lantmäteriet, i2012/901

Totalt sex testområden ingick i fallstudien med två testområden i varje tätort – ett villa område och ett tätbebyggt flerbostadsområde (fig. 5). Sammanlagt utgjorde alltså testområdena tre villaområden och tre områden med flerbostadshus i en mer kompakt bebyggelse form. Valet av två olikartade bostadsområden i varje tätort baserades på forskningsfrågan huruvida ett tätare bebyggt bostadsområde utgör en större risk för ökad ytavrinning jämfört med ett villaområde. Fältstudier och flygbildsanalyser hjälpte fastställa fördelningen av olika marktäcken och vegetation i bostadsområdena. Den genomsnittliga fördelningen för varje villatomt pekade på

30% byggnad, 10% ogenomsläppligt marktäcke (t.ex. asfalterad uppfart, stensatta gångar etc.), 15% trädbestånd, och 45% gräsmatta. För varje tomt med flerbostadshus var fördelningen 40% byggnad, 20% ogenomsläppligt marktäcke (t.ex. asfalterade parkeringsplatser, stensatta gångar etc.), 7% trädbestånd, och 33% gräsmatta. Samtliga testområden är kopplade till de kommunala ledningssystemen för avfalls- och dagvatten.

Eftersom studien även hade som avsikt att belysa ifall en ökning av ogenomsläppliga markmaterial inverkade på tätorternas totala ytavrinning genomfördes fältstudier i de sex testområdena, men även samtal med representanter på kommun och byggföretag ingick för att klarlägga om andelen ogenomsläppliga markmaterial ökat under de senaste åren. Det visade sig dock vara svårt att fastställa hur stor andel markmaterial detta skulle röra sig om, men problematiken har tagits upp inom kommunerna i samtliga tätorter samt i en övergripande analys av Länsstyrelsen Skåne (Foltýn, 2011; Persson m.fl., 2012). Även ett byggherreföretag i Lomma Hamn påpekade att boende alltmer väljer att stensätta hela täppor i radhusområdena och ofta inkluderar detta som ett förval innan inflyttning (Christianson, 2012).

2.2.3 Avrinningsmodell

För att uppskatta avrinningskoefficienter beroende marktäcke, jordmån och vegetation, användes en beräkningsmodell från amerikanska Soil Conservation Service (SCS, 1972) som under det engelska namnet brukar kallas för 'SCS-curve number method'. SCS-metoden är ett två-dimensionellt kalkyleringsverktyg där fasta värden för olika marktäcken (inkl. byggnader och vegetation), jordmån, och markfuktighet tas med i simuleringen. För att ange korrekt nederbördsdata som kunde relateras till fallstudieområdet förhållanden kontaktades Ramböll AB i Malmö, som i samarbete utförde en nederbördskalkylering utifrån Dahlströms formel (Lidström och Glivesson, 2011). Detta innebär att för de nederbördsscenarios som beräknades liknades ett normalt skyfall (med ettårs återkomsttid) vid 5mm/10min, ett tioårsregn 13mm/10min, och slutligen ett hundraårsregn 32mm/10min. För samtliga testområden i avrinningsområdet kan detta kvantifieras till 50m^3/hektar under ett normalt skyfall, 129m^3/hektar under ett tioårsregn, och slutligen 322m^3/hektar under ett hundraårsregn (Lidström och Glivesson, 2011). Tidsintervallet på 10 minuter togs med i kalkylen p.g.a. det snabba avrinningsförlopp som skapas i hårdgjorda tätortsmiljöer av just regn med kort varaktighet på omkring 5 – 10 minuter (Dahlström, 2006). Modellen beräknade enbart ytavrinningen som alstrades inom de olika testområdena och tog t.ex. inte hänsyn till den ytavrinning som uppkommer p.g.a. högt stående grundvatten eller laterala flöden under mark.

Nästa steg var att definiera jordmånen för de samtliga testområdena. För Lommas räkning fastställdes detta till sandig jord med inslag av mo, som enligt SCS-modellen benämndes som jordtyp A/B (NRCS, 1986). Jordmånen i Lund bestämdes till lerjord med inslag av mjäla vilket motsvarade jordtyp C/D i modellen. För Staffanstorp utgick modellen från jordtyp D, d.v.s. styv lerjord (TABELL). Samtliga jordkvaliteter fastställdes med hjälp av kontaktpersoner på SGU (Sveriges geologiska undersökning), samtal med forskare på Geologiska institutionen vid Lunds universitet samt med Staffanstorp kommuns vattensamordnare, och en fördjupad miljöteknisk markundersökning genomförd av J&W konsult i Malmö för flerbostadsområdet i Lomma (Lomma Hamn).

Tre olika nivåer på markfuktighet ingick också som en parameter i modellen. Dessa hänvisas till benämningen AMC. AMC I står för en torr jordmån, AMC II för en jordmån med en normal fuktighetshalt, och AMC III för en fuktighetsmättad jord. Markfuktigheten bestäms framförallt utifrån den nederbörd som förekommit under de senaste fem dygnen, men även till viss mån årstidsskillnader (SCS, 1972). På så sätt kan man sammanfatta att nederbördsinfiltrationen är större inom kategorin AMC I än inom AMC II och III, samt att ytavrinning kommer att bli större när jordmånen är fuktighetsmättad, d.v.s. AMC III.

Slutligen angavs olika marktäcken och procentuella skillnader för huskropparnas yta i modellen. Samtliga sex testområden simulerades utifrån fyra olika alternativ av fördelningar av marktäcke (fig. 6):

1) Befintlig marktäckefördelning (se tidigare redovisning i stycke 2.2.2)
2) En ökning av 10% trädbestånd (där den procentuella beräkningen utgår ifrån den projekterade yta som trädkronan utgör på tomten)
3) En ökning av 20% ogenomsläppliga markmaterial (d.v.s. traditionell asfalt, stensättning och grus med en överbyggnad på finkornigt aggregat 0/4-0/8mm. Utökningen på 20% kan likställas en extra biluppfart och terrass/gångar)
4) En ökning av 20% genomsläppliga markmaterial (porös asfalt, gatsten med anpassade fogar för en överbyggnad bestående av större aggregat, stenkistor, och skelettjordar)

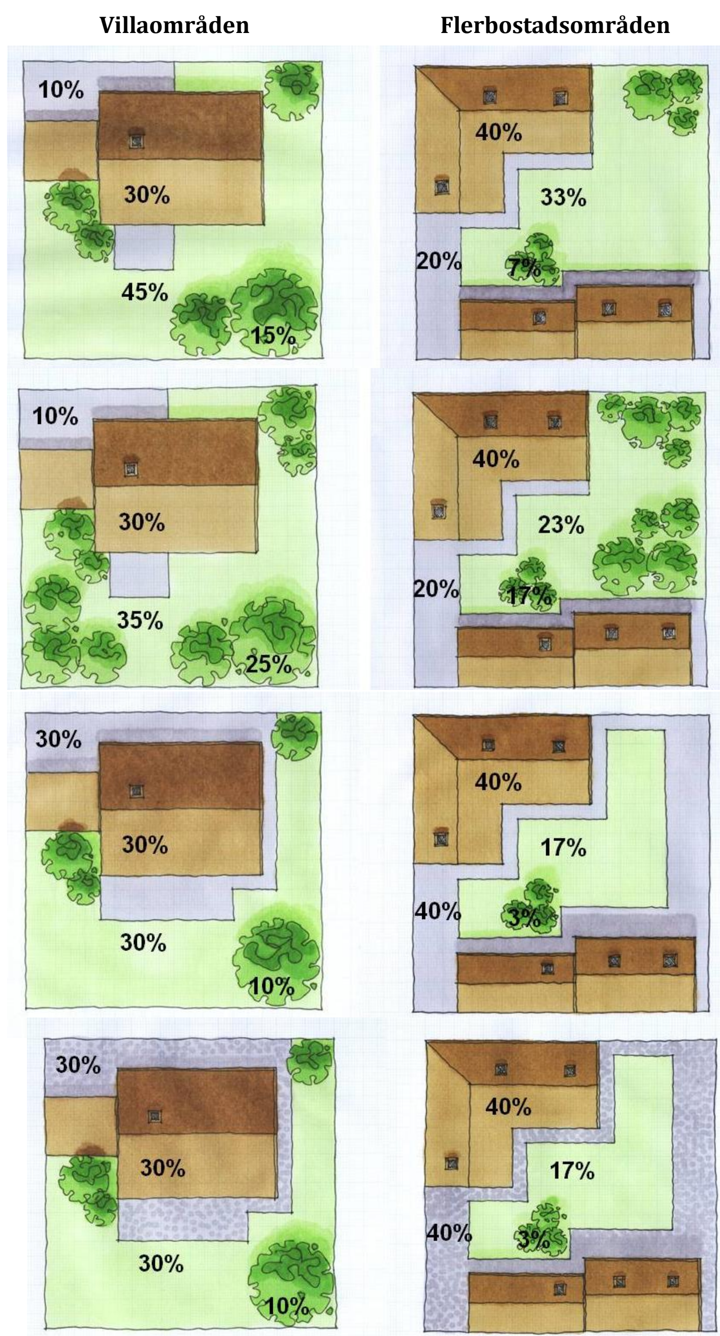


Fig. 6. Marktäckefördelning för samtliga testområden, där de två översta visar på den befintliga marktäckefördelsningen, sedan med en ökning av 10% träd. Den tredje raden visar på en ökning av 20% ogenomsläppliga material och den understa raden 20% porösa markmaterial.

Det sista alternativet med porösa markmaterial valdes som ett komplement till de traditionella markmaterialen. I många av de tätbebyggda flerbostadshusen är hårdgjorda ytor betydelsefulla för t.ex. bilparkering för besökare, cykelparkering och gångar. Syftet med att inkludera porösa markmaterial var därför för att undersöka skillnaden i mängd ytavrinning från de två alternativen. Eftersom kalkylvärden för genomsläppliga och porösa markmaterial (inklusive stenkistor och skelettjordar) inte ingick i den ursprungliga SCS-databasen, överfördes istället beräkningsresultaten från ett projekt på Narvavägen i Stockholm där man skapat liknande jordprofiler för att förbättra infiltration och fördröjning av regnvatten i gatumiljö till motsvarande SCS-värden (Ståhl, 2012). Gröna tak (exempelvis sedumtak, ört- och grästak) inkluderades dock inte i simuleringen då detta krävde en mer komplex tolkning av registrerade infiltrationsvärden beroende substratdjup och olika vegetationsmöjligheter.

2.3 Resultat

Eftersom jordmånen i Lomma var sandig med inslag av mo blev ytavrinningen i dessa bostadsområden mindre jämfört med dem i Lund och Staffanstorp, där jorden var betydligt mer lerhaltig. Detta var konsekvent för alla scenarios – oavsett markfuktighet och nederbördsmängd – som genomfördes i studien. Omfattningen på ytavrinningen ökade också i takt med kraftigare skyfall. Trots att ytavrinningen var konsekvent större i Lund och Staffanstorp i jämförelse med Lomma, var den stegrande ytavrinningen från ett normalt skyfall till ett 100-årsregn större i Lomma. Detta förlopp var framförallt påfallande när markfuktigheten i Lomma mättad. Under sådana förhållanden låg ökningen i ytavrinning på 40% från ett normalt nederbördstillfälle till ett 100-årsregn i det tätbebyggda bostadsområdet i Lomma, medan ökningen i Lund (för samma typ av bostadsområde) låg på 24% och i Staffanstorp på 21%. För villaområdena låg ökningen för liknande scenarios på 49% i Lomma, 32% i Lund, och 29% i Staffanstorp (tabell 1 och 2).

2.3.1 Lomma

Ytavrinningen som bildades i det tätbebyggda flerbostadsområdet var 16% större än ytavrinningen från villakvarteret (under ett vanligt skyfall och när markfuktigheten var normal). Skillnaden i ytavrinning minskade mellan bostadsområdena allt eftersom nederbörden intensifierades, och under ett 100-årsregn låg skillnaden på 11%. När markfuktigheten var mättad blev avvikelserna i ytavrinning lägre, d.v.s mellan 15-6% från ett normalt skyfall till ett 100-årsregn. Däremot när marken var torr ökade skillnaden i ytavrinning från 11% under ett normalt regn till 15% under ett 100-årsregn.

Genom att utöka trädbeståndet med 10% minskade ytavrinningen upp till 3% och detta gällde konsekvent för båda bostadsområdena och för samtliga nederbörds- och markfuktighetsscenarios.

Med en tillökning av 20% ogenomsläppliga markmaterial (på bekostnad av befintliga träd och gräsmattor) ökade ytavrinningen avsevärt i det tätbebyggda flerbostadsområdet jämfört med villakvarteret. Under ett normalt nederbördstillfälle och med en normal markfuktighet ökade ytavrinningen med 23% i det tätbebyggda flerbostadsområdet i jämförelse med dagens befintliga fördelning av marktäcke. I villaområdet var det motsvarande 15%. Den största jämförbara skillnaden i ytavrinng mellan de två bostadsområdena inträffade under ett normalt nederbördstillfälle när markförhållandena var torra. Skiljaktigheten blev mindre och mindre med kraftigare nederbördstillfällen och under ett 100-årsregn var skillnaden 15% när marken var torr, och 6% när markfuktigheten var mättad.

Genom att ersätta ogenomsläppliga markmaterial med mer genomsläppliga och porösa material minskade ytavrinningen avsevärt. Resultaten visade att ytavrinningsmängderna t.o.m. var mindre jämfört med den avrinning som bildas vid befintliga förhållanden (d.v.s. dagens fördelning av marktäcken). Denna effekt var tydlig i båda bostadsområdena – oavsett

Områden med friliggande villor

		Befintlig marktäckefördelning			10% ökning av träd			20% ökning av ogenomsläppliga markmaterial			20% ökning av porösa och genomsläppliga markmaterial		
Normal nederbörd 5-6mm/10min	**Jordtyp**	AMC I	AMC II	AMC III	AMC I	AMC II	AMC III	AMC I	AMC II	AMC III	AMC I	AMC II	AMC III
Lomma	A/B	0.01	0.12	0.34	0.01	0.11	0.32	0.11	0.27	0.48	0.00	0.05	0.22
Lund	C/D	0.12	0.35	0.60	0.11	0.33	0.58	0.25	0.48	0.69	0.02	0.14	0.36
Staffanstorp	D	0.15	0.39	0.64	0.14	0.38	0.62	0.28	0.52	0.72	0.02	0.16	0.38
10-årsregn 13mm/10min	**Jordtyp**	AMC I	AMC II	AMC III	AMC I	AMC II	AMC III	AMC I	AMC II	AMC III	AMC I	AMC II	AMC III
Lomma	A/B	0.23	0.43	0.64	0.22	0.41	0.62	0.41	0.58	0.74	0.12	0.30	0.53
Lund	C/D	0.42	0.64	0.81	0.41	0.63	0.80	0.56	0.74	0.86	0.23	0.45	0.65
Staffanstorp	D	0.46	0.68	0.84	0.45	0.67	0.83	0.59	0.76	0.88	0.26	0.47	0.67
100-årsregn 32mm/10min	**Jordtyp**	AMC I	AMC II	AMC III	AMC I	AMC II	AMC III	AMC I	AMC II	AMC III	AMC I	AMC II	AMC III
Lomma	A/B	0.53	0.69	0.83	0.52	0.68	0.82	0.68	0.79	0.88	0.41	0.59	0.76
Lund	C/D	0.69	0.83	0.92	0.68	0.82	0.91	0.78	0.88	0.94	0.53	0.71	0.84
Staffanstorp	D	0.71	0.85	0.93	0.71	0.84	0.92	0.80	0.89	0.95	0.55	0.72	0.85

Tabell 1. Avrinningskoefficienter för samtliga testområden med friliggande villor i Lomma, Lund och Staffanstorp.

Områden med tätbebyggda flerbostadshus

		Befintlig marktäckefördelning			10% ökning av träd			20% ökning av ogenomsläppliga markmaterial			20% ökning av porösa och genomsläppliga markmaterial		
Normal nederbörd 5-6mm/10min	**Jordtyp**	AMC I	AMC II	AMC III	AMC I	AMC II	AMC III	AMC I	AMC II	AMC III	AMC I	AMC II	AMC III
Lomma	A/B	0.12	0.28	0.49	0.11	0.26	0.46	0.34	0.51	0.68	0.00	0.08	0.25
Lund	C/D	0.25	0.49	0.70	0.24	0.47	0.68	0.45	0.66	0.84	0.02	0.14	0.34
Staffanstorp	D	0.28	0.53	0.74	0.27	0.51	0.72	0.47	0.68	0.83	0.03	0.15	0.36
10-årsregn 13mm/10min	**Jordtyp**	AMC I	AMC II	AMC III	AMC I	AMC II	AMC III	AMC I	AMC II	AMC III	AMC I	AMC II	AMC III
Lomma	A/B	0.42	0.59	0.75	0.41	0.57	0.73	0.64	0.76	0.86	0.19	0.36	0.56
Lund	C/D	0.56	0.74	0.87	0.55	0.73	0.86	0.72	0.84	0.92	0.26	0.44	0.64
Staffanstorp	D	0.59	0.77	0.89	0.58	0.76	0.88	0.74	0.86	0.93	0.27	0.46	0.65
100-årsregn 32mm/10min	**Jordtyp**	AMC I	AMC II	AMC III	AMC I	AMC II	AMC III	AMC I	AMC II	AMC III	AMC I	AMC II	AMC III
Lomma	A/B	0.68	0.80	0.89	0.68	0.79	0.88	0.83	0.89	0.94	0.48	0.64	0.78
Lund	C/D	0.78	0.88	0.94	0.78	0.88	0.94	0.87	0.93	0.97	0.55	0.70	0.83
Staffanstorp	D	0.80	0.90	0.95	0.79	0.89	0.95	0.88	0.94	0.97	0.56	0.71	0.83

Tabell 2. Avrinningskoefficienter för samtliga testområden med flerbostäder iLomma, Lund och Staffanstorp.

nederbördsmängd och markfuktighetsförhållanden. Den jämförbara skillnaden i avrinningsmängd mellan villaområdet och det tätbebyggda flerbostadsområdet blev dessutom försumbar, med högst 7% skiljaktighet (vid torra markförhållanden och under ett 100-årsregn). När marken var fuktighetsmättad var skiljaktigheten ännu lägre, med 2% (även under ett 100-årsregn). Resultaten visade också att porösa markmaterial hade störst inverkan på att minska den relativa mängden ytavrinning i det tätbebyggda flerbostadsområdet.

2.3.2 Lund och Staffanstorp

Även om avrinningskoefficienterna för Lund och Staffanstorp var högre i jämförelse med avrinningskoefficienterna för Lomma, så följde resultaten i Lund och Staffanstorp ett liknande mönster som det i Lomma. Avrinningen var på så sätt större i de tätbebyggda bostadsområdena i jämförelse med villaområdena. En framträdande avvikelse mellan Lomma och de andra två tätorterna var dock att den jämförbara skillnaden i ytavrinning mellan villaområdena och de tätbebyggda flerbostadsområdena blev mindre påtaglig i takt med stigande nederbörd. Från ett normalt skyfall till ett 100-årsregn (under normala markfuktighetsförhållanden) avtog skillnaden mellan bostadsområdena från 14% till 5% i både Lund och Staffanstorp (i Lomma från 16% till 11%). För samma nederbördsfrekvens, men när markfuktigheten var mättad, avtog skillnaden från 10% till 2%, och när markförhållandena var torra, från 13% till 9%.

I likhet med bostadsområdena i Lomma så minskade ytavrinningen med enbart några procent när trädbeståndet utökades med 10%, och detta gällde för samtliga bostadsområden i Lund och Staffanstorp oberoende nederbördsscenario och markförhållanden.

När ett tillskott på 20% ogenomsläppliga markmaterial ersatte den befintliga vegetationen så ökade ytavrinningen i samtliga bostadsområden. Precis som i Lomma så ökade ytavrinningen också som mest när markförhållandena var torra. Den största jämförbara skillnaden mellan de tätbebyggda bostadsområdena och villaområdena inträffade därför också när markförhållandena var torra (och under ett normalt skyfall). Allt eftersom markfuktigheten mättades och nederbörden blev mer intensiv så mattades skillnaderna i mängd ytavrinning också av mellan de tätbebyggda bostadsområdena och villaområdena i både Lund och Staffanstorp. Under ett 100-årsregn var denna jämförbara skillnad 8-9% vid torra markförhållanden, och 2-3% när markfuktigheten var högst.

Skulle de ogenomsläppliga markmaterialen ersättas med porösa material och en mer genomsläpplig markprofil skulle mängden ytavrinningen även i Lund och Staffanstorp bli mindre än den ytavrinning som alstras under befintliga förhållanden (d.v.s. dagens fördelning av marktäcken). Trots att samtliga bostadsområden i Lund och Staffanstorp producerade en större mängd ytavrinning än bostadsområdena i Lomma, så visade resultatet att effekten av ett genomsläppligt/poröst markmaterial var större i Lund och Staffanstorp än i Lomma. Med genomsläppliga markmaterial minskades den jämförbara skillnaden i ytavrinning mellan de tätbebyggda bostadsområdena och villaområdena också avsevärt, det vill säga, den mest markanta avvikelsen låg på endast 2-3%.

2.4 Diskussion

2.4.1 Bebyggelseform och rummen mellan husen

Resultaten visar tydligt på att flerbostadshus av en tätare bebyggelseform genererar en större ytavrinning än t.ex. villaområden. Detta är kanske in så förvånande eftersom större huskroppar per tomt i sin tur ger mindre markyta för infiltration. Däremot visar resultaten, att det förutom markens ytskikt, är jordmån och markprofil som har en påfallande stor roll för de olika bostadsområdenas möjligheter till en bättre infiltrationskapacitet. Jordmån har en betydande

inverkan på mängden ytavrinning och detta blir särskilt tydligt när man jämför resultaten för flerbostadsområdet i Lomma, som har en sandig jordtyp, med flerbostadsområdena i Lund och Staffanstorp, där jordmånen är starkt lerhaltig. Flerbostadsområdet i Lomma genererade till och med 7-9% mindre ytavrinning än villaområdet i Staffanstorp vid en befintlig marktäckefördelning.

Detta skulle kanske vid första anblick kunna tyda på att tätbebyggda bostadsområden på sandigare mark är att föredra framför liknande bebyggelse på lerhaltiga jordar eftersom dessa genererar mindre avrinning? Men ser man det istället utifrån ett större perspektiv, där fokus ligger på att minska belastningen på recipient och avrinningsområde, så bidrar istället de tätbebyggda bostadsområdena på sandigare jordar med ett betydligt större *tillskott* av ytavrinning än liknande bebyggelse på lerhaltig jordmån. Som ett förtydligande exempel kan man jämföra mängden ytavrinning som alstras på helt obebyggd mark med den avrinning som bildas när ett tätbebyggd bostadsområde tillkommer. Under ett normalt skyfall skulle tillskottet av ytavrinning från den sandigare jorden uppnå ca 29%, medan den på en styvare lerjord skulle nå upp till 20% – alltså en skillnad på en knapp tredjedel i avrinningstillskott. Ökar nederbörden sedan till ett 10-årsregn motsvarar tillskotten 20% och 11%, och under ett 100-årsregn 11% och 6% – det vill säga skillnaden i avrinningstillskott blir nästan dubbelt så stor från ett tätbebyggt område på sandig jordmån än från liknanden bebyggelse på lerrik mark.

Med tanke på dagens urbanisering där förtätning av stadslandskapet utgör en större del av planeringspolitiken bör därför de hållbara dagvattenfrågorna även riktas till hur markstrukturen ser ut. Eftersom dagvattenproblematiken i slutändan blir en mellankommunal angelägenhet skulle en hållbar ansats innebära att planeringen av den urbana tillväxten tog större hänsyn till hur bebyggelseutvecklingen anpassades till tätorternas jordmån och markstruktur. Ett sådant förslag skulle främst beröra avrinningsområden där tätorterna sammanfaller med varierande jordarter, liknande Höje å avrinningsområde. Här skulle ett mellankommunalt planeringsverktyg med särskilda riktlinjer för planering och projektering av täthetsgrader på bebyggelse vara betydelsefullt och angeläget. Särskilt när översvämningsproblematiken i avrinningsområdet är så pass omfattande och en långsiktig ekonomisk hållbarhet kopplat till framtida skadekostnader är av prioritet.

Idag är emellertid en större del av dagvattenfrågorna kopplade till tillgång av markyta. Ett tydligt exempel är det resonemang som förs i Lunds översiktsplan, del 1 från 2010, där den föreslagna förtätningen av staden anses ge begränsade och sämre förutsättningar för en dagvattenfördröjning. I likhet med flertalet andra kommuner ser man istället att dagvattenhanteringen bör utgöras av översvämningsytor i form av dammar och svackdiken i stadens utkant (Lunds kommun, 2010; Deak och Bucht, 2011). Även i byggprocessen och genom de certifieringssystem som idag växer i popularitet hos både kommun och byggherrar, blir ofta dagvattenfrågan associerad till begreppet ”yta”, där den största tonvikten läggs på markmaterialets ytskikt medan redovisning för struktur och genomsläpplighet av underliggande överbyggnad och markprofil utelämnas (Persson m.fl., 2012; Christiansson m.fl., 2012). Därför blir det intressant när resultaten från detta projekt istället visar på att hållbar dagvattenhantering inte enbart rör sig om markytans omfattning, utan att vi istället bör ta hänsyn till de olika samspelen som förbinder dagvattensystemet under mark och hur vi genom vegetation och alternativa markmaterial skapar förutsättningar bortom ett tvådimensionellt planperspektiv. En sådan synvinkel kan vara särskilt aktuellt när stadsplaneringen styr allt längre mot ett förtätat bebyggelsemönster.

2.4.2 Vegetation

Växtligheten i våra bostadsområden bidrar med en mångfald av värden, från rent estetiska inslag till ett väsentligt bidrag för den biologiska mångfalden, för markkylande effekter, för lägre energiförbrukning, för renare luft, och för en lägre stressnivå hos oss människor (Goddard m.fl.,

2009; Gill m.fl., 2007; McPherson m.fl., 1997; Grahn och Stigsdotter, 2003). För dagvattenhanteringen bistår växterna med olika kapaciteter, och dessa kan variera beroende på årstid, växtsammansättning samt växtart. Egenskaper såsom interception och transpiration (där avdunstning av nederbörd och växttillgängligt vatten antingen sker genom uppsamling i blad- och grenverk eller genom rötternas vattenupptagning) skiljer sig t.ex. åt mellan barr- och lövfällande träd (Florgård och Palm, 1980). En gran har på så sätt en större evapotranspiration och interception än en björk, eftersom granens barr utgör en större sammanlagd bladmassa än björken – d.v.s ett större 'leaf area index'. Olika arters förmåga att samla upp nederbörd genom interception blir särskilt tydligt under vintertid, då barrträdens uppsamlingsförmåga blir överlägsen de nakna grenverken hos lövfällande träd.

I SCS-modellen framgår inte hur kalkyleringsvärdet för "träd" ('tree cover') tar hänsyn till barr- och lövfällande arter. Detta kan ses som begränsande eftersom trädens inverkan på ytavrinning varierar beroende årstid och artsammansättning. Resultatet från simuleringen för Lomma, Lund och Staffanstorp analyserades därför utifrån resultat från liknande forskningsprojekt och även där man använt sig av andra avrinningsmodelleringar. Den första studien var ett projekt från Baltimore, USA, där man använt sig av en mer detaljerad modell vad avser artsammansättning, d.v.s. 12% barrträd och 88% lövfällande träd, samt den procentuella minskning/ökning av bladmassa beroende årstid (Wang, m.fl. 2008). Genom att utöka trädbeståndet i staden från 12 till 40% visade resultaten att avrinningen reducerades som högst med 2,6% under sommarhalvåret. Även ASCCUE-projektet i Storbritannien användes som en referens. Resultaten där visade att en ökning på 10% träd i bostadsområdena i Manchester minskade ytavrinningen med 2,4% (Gill m.fl., 2007). Samtliga resultat överensstämmer väl med resultaten för Lomma, Lund och Staffanstorp, där en 10% utökning av träd i samtliga bostadsområden skulle bidra till att ytavrinningen minskas med 1-3%.

Anledningen till att ytavrinningen minskade med endast 1-3% när den befintliga marktäckefördelningen utökades med ett 10% trädbestånd var att ett redan vegetationsbeklätt marktäcke ersattes med ett annat – d.v.s. en tiondels gräsmatta byttes ut mot en tiondels träd. Träd däremot, har en större bladmassa och därför ett högre 'leaf area index' (projicerad bladmassa/yta), som i sin tur bidrar med en större evapotranspiration och interception. På så sätt minskar ett trädbestånd ytavrinningen något mer än en gräsmatta. Skulle man däremot inkludera träd i en för övrig hårdgjord miljö, t.ex. en parkeringsplats eller asfalterad innergård, skulle trädens roll i att reducera avrinningen avsevärt. En parallell modellering av detta visade att 20% träd på en parkeringsplats med asfaltytor med en underliggande normal markfuktighet skulle reducera ytavrinningen med 40% under normalt skyfall och med 20% under ett 10-årsregn. På platser som är relativt hårdgjorda eller där utrymmet är begränsat, fungerar träden därför som effektiva alternativ.

2.4.3 Hårda ytor – ogenomsläppliga och porösa markmaterial

Resultaten visade att en ökning av ogenomsläppliga markmaterial bidrog till en större ytavrinning i bostadsområdena i Lomma än i Lund och Staffanstorp. Detta beror på att jord med en högre lerhalt, exempelvis som i Staffantorp, redan har en begränsad infiltrationskapacitet och därför påverkar ogenomsläppliga markmaterial mindre här än på marker med sandig jordmån, som i Lomma. Men även markmaterial som klassas som ogenomsläppliga har olika egenskaper vad gäller avdunstning, infiltration och direkt avrinning. Ett experiment av Mansell och Rollet (2006) visade att avrinningen från ett skyfall något mindre än 18mm, varierade från 9% från tegel, 36% från oljegrus, 56% från asfalt med bitumen, och 69% från betongplattor. I trädgårdsmiljöer och på uppfarter där slitaget är lägre än t.ex. hårt trafikerade vägar, kan därför valet av material ha en stor inverkan på tomtens totala ytavrinning. Men det är i synnerhet de mer porösa materialen med överbyggnader på större aggregat som bidrar till en bättre infiltrationskapacitet. Framförallt är det till fördel i områden på styvare lermark, som i Lund och Staffanstorp, där genomsläppliga markmaterial skulle bidra till att fördröja ytavrinningen i en

betydande utsträckning. Trots detta måste man vara medveten över den aktuella platsens koppling till intilliggande tomter och grundvattennivåer, så att markuppbyggnaden konstrueras utifrån en jämfördelad spridning av fuktighet och vatten till följd av en ökad infiltration. Dräneringsrör som leder överflödigt vatten till närliggande vegetationsbäddar kan därför ses som ett viktigt komplement till de porösa markmaterialen.

2.4.4 Bostadsområdenas koppling till den övergripande klimatanpassningen

Under normala nederbördsförhållanden faller ca 24 100m^3 regnvatten inom Lomma tätort (Lidström och Glivesson, 2011). I Lund motsvarar detta en mängd på 128 750m^3 och i Staffanstorp 33 150m^3. Utav den totala nederbördsvolymen i Lomma skulle idag 34% d.v.s. 8 260m^3 tas om han inom tätortens samtliga bostadsområden – genom infiltration, perkolation och växternas evapotranspiration (under normala markfuktighetsförhållanden). I Lund skulle 23% (29 863m^3) av den totala nederbörden tas om hand och likaså i Staffanstorp, 23% (7 803m^3) i bostadsområdena. Hur påverkar då en ökad plattsättning avrinningen från tätorten och dagvattenplaneringen i regionen?

För Lommas del, skulle en ökning på 20% ogenomsläppliga markmaterial resultera i ytterligare 1 564m^3 under normala nederbörds- och markfuktighetsförhållanden. Med denna ökning skulle ytavrinningen från samtliga bostadsområden motsvara ungefär 12% av den totala nederbördsvolymen som faller inom tätorten. I Lund och Staffanstorp skulle ytavrinningen från bostadsområdena omfatta 7 726m^3 och 1 763m^3, vilket motsvarar 23% av nederbördsvolymen i Lund, och 21% i Staffanstorp. Vid ett 10-årsregn skulle däremot den samlade ytavrinningen från bostadsområdena i Lomma bli dubbelt så stor som tidigare, d.v.s. från 12% till 24% av den totala nederbördsmängden vid en ökning av 20% ogenomsläppliga markmaterial. I Lund och i Staffanstorp skulle ytavrinningen öka med en tredjedel och slutligen motsvara ca 30% av den totala nederbördsmängden i vardera tätort. Slutligen vid ett 100-årsregn blir ytavrinningen från bostadsområdena i Lomma 32% av den totala nederbördsmängden och i Lund och Staffanstorp 36% (fig. 7-9).

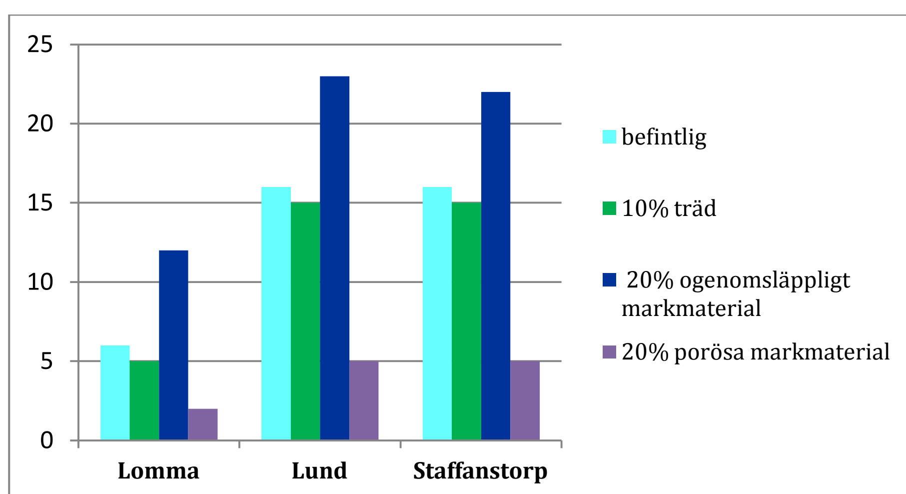


Fig. 7. Procentuell ytavrinning av den totala nederbördsmängden inom varje tätort under ett normalt nederbördstillfälle och under normal markfuktighet.

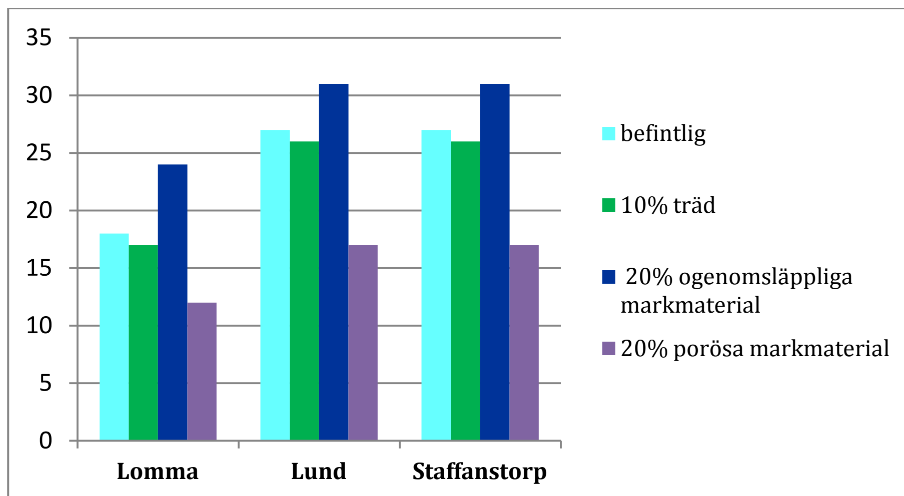


Fig. 8. Procentuell ytavrinning av den totala nederbördsmängden inom varje tätort under ett 10-årsregn och under normal markfuktighet.

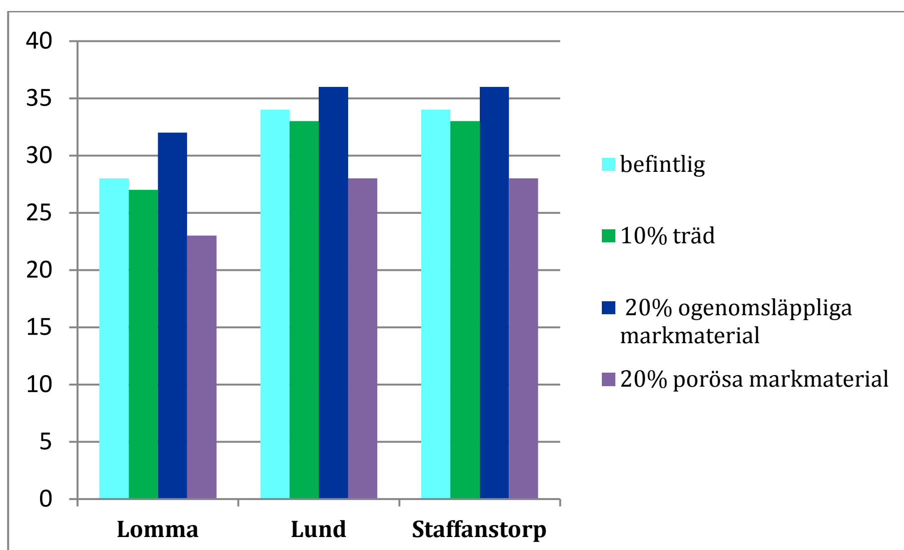


Fig. 9. Procentuell ytavrinning av den totala nederbördsmängden inom varje tätort under ett 100-årsregn och under normal markfuktighet.

Idag planerar och projekterar samtliga kommuner i Höje å avrinningsområde VA-systemen utifrån nederbörd med en återkomsttid på 10 år (Hagstrand, 2012; Nilsson 2012). Dagvattendammen i Lomma som konstruerades efter översvämningen 2007 är på så sätt dimensionerad efter 15 000m^3 (Nilsson, 2012) – en volym som motsvarar 24% av den totala nederbördsmängden i tätorten, och som även överensstämmer med den mängd ytavrinning som skulle bildas vid en ökning av ogenomsläppliga markmaterial i bostadsområdena. Det går därför att dra en samhällsekonomisk koppling mellan de små förändringarna i våra bostadsområden till mer storskaliga åtgärder för samhällets klimat- och väderanpassning.

Sammanfattningsvis är den gröna infrastrukturen ett av våra främsta verktyg för den urbana klimatanpassningen eftersom både vegetation och genomsläpplig mark bidrar till flertalet nyttor samtidigt – minskning av värmeöeffekten, infiltration av dagvatten, biologisk mångfald och stadsodling etcetera. Samtliga har en direkt eller indirekt inverkan på samhällets långsiktiga ekonomiska, sociala och ekologiska hållbarhet. Men för att den gröna infrastrukturen ska kunna fungera för dessa ändamål måste planeringen för dagens och framtidens klimatanpassning utgå från ett systemtänkande när det kommer till stadsgrönska, genomsläpplig mark och

vattenhushållning. Ett sådant systemtänkande utgår ifrån att allt hänger samman och att även mindre processer i småskaliga grönområden i slutändan påverkar den storskaliga hållbarheten i landskapet. Denna tankegång överensstämmer med de tidiga koncepten kring just hållbarhet, resiliens och komplexa system (Levin, 1998). Precis som vattnets naturliga kretslopp skapar den gröna infrastrukturen en omloppsbana i landskapet. Därmed räcker det inte att enbart investera i punktinsatser som kräver större ytor som t.ex. dagvattendammar, grönstråk och parkområden, utan även den finfördelade grönstrukturen (t.ex. mindre grönområden, gatuträd, alternativa markuppbyggnader) måste inkluderas i planering och projektering då den övergriper hela stadslandskapet (Opdam m.fl., 2006). Den här studien har visat på hur våra bostadsområden ingår i denna finfördelade struktur och hur grönskan och marktäckefördelningen där vi bor påverkar den långsiktigt hållbara dagvattenplaneringen. Eftersom många av våra städer idag fortsätter att växa med en tilltagande befolkningsökning, kommer bostadsområden även i framtiden att utgöra en större del av det urbana landskapet. Hur pass hållbart och anpassningsbart samhället är inför framtidens förändringar och en periodvis ökad nederbörd kan därför komma att avgöras i just våra bostadsområden och i vardagslandskapet.

3 Mikroklimat

3.1 Bakgrund

Dagens stadsplanering och byggande påverkas dels av en ökad befolkningstillväxt, dels av miljömål och riktlinjer som ska styra och vägleda en hållbar utveckling i frågor som rör miljö och klimatanpassning. Ett stort fokus ligger på att uppföra och utveckla byggnader och infrastruktur som minskar energianvändning och bilberoende samt utsläpp av växthusgaser. Detta har resulterat i ett tätare stadsbyggnadsmönster för nya utvecklingsprojekt och förtätningsstrategier för befintlig bebyggelse (Tregoning m.fl., 2002; Colding, 2011). Den kompakta staden står som förebild framför den glesa, där transportavstånden istället blir längre och där nya stadsområden tillkommer på oexploaterad naturmark eller bördiga åkrar. Samtidigt har det täta byggnadsmönstret en inverkan på hur vi planerar och projekterar rummen för den urbana grönskan. Åtgärder för att begränsa växthuseffekten och klimatförändringen genom att bygga tätare (mitigation) ses stå i konflikt mot behovet av plats och utrymme för grönområden och grönska, som i sin tur bidrar till en effektiv klimatanpassning (adaptation) genom till exempelvis avkylning av värmeöeffekten och minskad ytavrinning vid häftiga regn etc., (Hamin och Gurran, 2009).

Stadsgrönskans bidrag till en begränsad växthuseffekt och som förutsättning för samhällets klimatanpassning har lyfts fram i både svensk och internationell forskning. Som exempel kan ges Hillevi Upmanis avhandling från Göteborgs Universitet, 1999, där särskilt fokus riktades mot städernas parkområden och den avkylande effekt, den s.k. parkbrisen, som parkvegetationen bidrar till. Även Susannah Gills avhandling från University of Manchester i Storbritannien, 2006, (parallellt kopplat till ASCCUE-projektet) lyfte fram stadsgrönskans avkylande egenskaper, och visade på att en ökning av 10% träd i våra städer skulle ge en utjämnande effekt på den temperaturökning som förutses i och med klimatförändringarna – d.v.s. ytterligare 10% träd i stadslandskapet kommer att minska framtidens temperaturhöjning med 4°C inom tätorten. I USA har liknande forskning även kopplats till samhällsekonomiska kostnader och faktorer, där 'The Chicago Urban Forest Climate Project' från början av 90-talet med forskarna Gregory McPherson, David Nowak och Rowan Rowntree i spetsen kunde peka på direkta besparingar i energikostnader för hushåll samt minskade koldioxidutsläpp beroende stadsträdens utbredning.

Kunskapen över dessa "eko-tekniska" kapaciteter är emellertid begränsad inom dagens hållbara stadsbyggnad i Sverige. Då vi har relativt god kompetens i byggnadstekniska lösningar och system vad avser energieffektiva byggmetoder och miljöanpassat produktval (d.v.s. ventilationssystem med värmeåtervinning, U-värden för energieffektiva fönster, BASTA-kriterier för produktval etc.) är en liknande detaljerad förståelse över grönskans funktion och artvariation betydligt mer bristfällig. Detta medför att vegetation och utemiljöer ofta projekteras i ett senare skede när den övriga infrastrukturen såsom byggnader, väg- och gatunät, VA- och andra ledningsnät förankrats. Träd, buskar och övrig grönska tilldelas den plats som blir över istället för att strategiskt inkluderas som ett integrerat stadsbyggnadselement.

En stor del av problematiken ligger i att det idag saknas en kunskapsspridning som lyfter fram grönskans eko-tekniska egenskaper, samt verktyg som hjälper till att skapa ett lättillgängligt och lättförståeligt underlag för planarkitekter, byggherrar och övriga aktörer i plan- och byggprocessen (Mills, 2006; Oke, 2006; Corburn, 2009). Att utveckla metoder som tydligt kan visa på *varför*, *var* och *hur* vi bör planera och projektera för stadsgrönskan kommer därför bli ett nödvändigt steg i den hållbara stadsutvecklingen framöver, där användarvänliga och platsspecifika verktyg blir väsentliga (Edén m.fl., 2000; Eliasson, 2000; Gunder och Hillier, 2007).

3.1.2 Klimatet i stadslandskapet och vegetationens roll

Som tidigare nämnts i den del av slutrapporten som har berört dagvattenhantering (kapitel 2) beräknas dagens och framtidens klimatförändringar medföra en temperaturökning på ca 4°C fram till år 2080 (Worldbank, 2012). Detta kommer i sin tur inverka på marktemperatur och lufttemperatur samt den sammanlagda strålningstemperaturen, som redan idag är högre i våra städer jämfört med omkringliggande landsbygd. Anledningen är att stadens ytor och material har en lägre albedo (d.v.s. en reducerad reflektivitet av solens kortvågiga strålning jämfört med omgivande landsbygd) samt en lägre evapotranspiration (d.v.s vegetationen i städerna är inte tillräckligt omfattande för att ge en likvärdig avkylningseffekt som utanför staden)(Parlow, 2011).

Istället för att reflektera tillbaka solens strålning, så absorberar stadslandskapets hårda ytor en större del av den inkommande kortvågiga solstrålningen, som sedan lagras och avger en hög värmestrålning. Olika material har olika albedovärden och detta varierar på en skala från 0 till 1 – där 0 påvisar en obefintlig reflektion och 1 hög reflektion. Material som asfalt har t.ex. en mycket låg albedo på ca 0,05-0,15, medan gräs och lövskog kan ha ett albedovärde på 0,25 (Parlow, 2011). Förutom ytornas albedo hänger stadens värmeöeffekt också samman med materialens olika termiska egenskaper – som konduktivitet (värmeöverföring mellan material) samt materialens värmekapacitet (Johansson, 2011). Olika typer av vegetation har också en direkt koppling till värme- och vattenbalansen i det urbana landskapet. Som tidigare nämnts bidrar växternas evapotranpiration till en avkylande effekt, men vid en alltför varm och torr väderlek minskar en del arter sin transpiration genom att de håller sina klyvöppningar stängda för att minska vattenförlusten (Sjöman, 2012). Däremot trädens kapacitet att absorbera och reflektera solstrålningen och skapa skuggande effekter har en stor betydelse för att jämna ut mark och lufttemperaturen. En studie i Israel har visat på att denna kapacitet kan utgöra hela 80% av trädens kylande effekt (Shashua-Bar och Hoffman, 2000). Givetvis varierar detta med hänsyn till art, ålder och platsspecifika förhållanden – på så vis har varje individ och art sin strategiska plats beroende miljö och omgivning.

I ett land som Sverige varierar solstrålningens vinklar markant från sommar till vintertid. Slagskuggan från byggnader och träd når t.ex. betydligt längre bort vintertid jämfört med under sommarmånaderna. Ett träd med en höjd på ca 12 meter ger exempelvis under sommaren en beskuggning av markytan på max 6 meter bort från trädets stam, medan samma träd under vintertid kan ge en slagskugga på runt 20 meter (Bucht och Schlyter, 1976). Under sommarhalvåret kan man därför räkna med att det är de horisontella ytorna som utsätts för den största delen av solens strålning, och att det sedan är fasader och andra mer vertikala ytor som tar emot strålningen vintertid. Solstrålningens vinklar skiljer sig också åt i olika delar av landet. Slagskuggorna är på så sätt längre i norra Sverige jämfört med landets sydligaste delar (Johansson, 2011). Förutom placeringen av träd och annan vegetation är också och olika arters transmissivitet (genomsläpplighet av den direkta solstrålningen) en faktor som påverkar omkringliggande ytors beskuggning.

Förutom solinstrålning, ytornas albedo och materialens termiska egenskaper, omgivningens fuktighetsbalans och vegetationens evapotranspiration, påverkas också stadsklimatet av det urbana landskapets geometri och aerodynamik (Oke, 1988). Vindens rörelse blir därför ytterligare en faktor som påverkar stadsklimatet och denna kan variera med stora skillnader även lokalt. Blickar man tillbaka i tiden kan man se hur vinden har haft ett inflytande på olika bebyggelsemönster genom stadsbyggnadskonstens historia. I vårt nordiska klimat och längs kusterna placerade man förr bebyggelsen i ett omlottmönster för att bryta upp inkommande havsvindar och förhindra starka och kylande genomflöden. I det antika Grekland och runt om i Medelhavsländerna var däremot en svalkande genomströmning önskvärd på grund av det varma klimatet. Redan under Antikens Grekland planerades städerna runt Medelhavsområdet med en geometri som skulle möjliggöra för god luftgenomströmning med gatunät i räta vinklar

enligt Hippodamos planmodell – ett stadsbyggnadsmönster som idag kallas rutnätsstaden och som tillämpats i Sverige sedan 1600-talet trots vårt nordiska klimat.

Vinden i sig har en avkylande effekt på den upplevda temperaturen. Därför kan vi uppleva att det känns kallare än vad luftttemperaturen uppmäter. En vindstyrka på 4 m/s kan upplevas som tre grader lägre när lufttemperaturen visar mellan 10 – 15°C, medan lägre lufttemperaturer under noll kan kännas betydligt kallare i takt med att vindstyrkan ökar. Vinden har på så sätt en stark inverkan på hur vi upplever och väljer att uppehålla oss utomhus (Johansson, 2011), något som blir betydelsefullt när vi planerar utemiljöer för människor att vistas i.

Stadslandskapets olikartade material, form och textur bidrar till friktioner som i sin tur påverkar vinden (Glaumann och Westerberg, 1988). Höjden på byggnader, gatornas bredd, vegetationens placering har därför en inverkan på hur vinden rör och utvecklar sig. Alltför kantiga och täta element skapar ofta en vindturbulens antingen strax bakom eller längre bort – beroende höjd, kontur och täthet (Johansson, 2011). Att använda vegetation som vindskydd har varit brukbart långt tillbaka i vår kulturhistoria, framförallt i skogs- och lantbruket (Gustavsson och Ingelög, 1994). Här har man ofta haft landsbygdens vidder att spela på och därför större möjligheter till upprepande läplanteringar. I stadslandskapet krymper utrymmena och enstaka punktinsatser av strategiskt placerad vegetation blir istället nödvändigt. Precis som med hårda stadsbyggnadselement såsom murar, plank, väggar och huskroppar påverkar graden av genomsläpplighet i materialet hur pass mycket vinden reduceras samt uppkomsten av turbulens (Bucht och Schlyter, 1976). En tät vegetationsskärm med en genomsläpplighet på endast 15-20% skulle därför reducera vindflödet avsevärt jämfört ett glest växtmaterial, men samtidigt skapa en större vindturbulens strax bakom. Studier har visat på att glesare vegetationsskärmar istället är att föredra eftersom dessa bidrar till mindre turbulens och en längre utjämningssträcka. Enligt Bucht och Schlyter (1976) skulle en vegetationsskärm på 2 meters höjd och med en genomsläpplighet på 45-55% på så vis ge ett bra vindskydd med ett djup på 5 meter och på en höjdnivå av 1 meter.

Sammanfattningsvis spelar grönskan i våra städer både en intressant och meningsfull roll för att skapa ett bättre mikroklimat, och som i sin tur har en direkt inverkan på många av de ekonomiska och sociala hållbarhetsmålen som idag styr och vägleder stadsutvecklingen. I den täta staden, där plats och utrymme är begränsat, blir därför grönskans strategiska plats och artval särskilt viktig. Följande avsnitt beskriver hur studien med hänsyn till ovanstående har utgått från en fallstudie där grönskans roll för ett förbättrat mikroklimat även kan kopplas till ekonomiska faktorer och hållbarhetsmål platsspecifikt för området. Det slutliga syftet har varit att ta fram både kvantitativa och kvalitativa värden som är lättförståeliga samt lättillgängliga för samtliga aktörer involverade i fallstudieområdets utveckling.

Vid detta dokuments framtagande är arbetet med klimatsimuleringarna inte helt slutfört där en fördjupad analys av resultaten kommer att genomföras inom en snar framtid. De resultat som presenteras nedan är därför preliminära.

3.2 Projektet – material och metod

3.2.1 Fallstudieområde

Lomma Hamn, Lomma, har varit fallstudieområde för denna del av projektet. Det före detta industriområdet på 24 hektar är beläget precis vid strandkanten längs Öresund 2 mil norr om Malmö. År 2003 startade projekteringen av Lomma Hamn, en ny stadsdel enligt blandstadsmodellen med radhuslängor och flerbostäder med butiker i bottenplan. Området beräknas färdigbyggt om tio-femton år. Lomma kommun vill tillsammans med de fem byggherrarna skapa en levande stadsdel med attraktiva grönområden, energisnåla hus, och förutsättningar för en god kollekitvtransport i framtiden (Lomma kommun, 2003). Dessa

målsättningar utgör tillsammans med frågor som rör en minskad klimatpåverkan och en sund boende miljö grundvisionen för områdets hållbara utveckling. År 2009 tilldelades kommunen medel från Delegationen för hållbara städer för att i samarbete med Internationella Miljöinstitutet Lunds Universitet och Sveriges Lantbruksuniversitet i Alnarp utveckla ett uppföljningsverktyg, som i första hand ska stödja dialogen och den lärande processen mellan kommun och byggherrar och för att följa hur samtliga kvarter efter slutförande svarar upp mot etappmålen i miljöhandlingsprogrammen.

Illustrationsplanen som antogs för Lomma Hamn följer den klassiska rutnätsstadens geometriska upplägg, med vinkelräta gator och slutna kvarter (fig.10). Området är utsatt för starka havsvindar, oftast i syd-sydvästlig riktning, som enligt den lokala segelklubben ligger på 8 m/s i medelstyrka. Eftersom hamnområdet tidigare var industrimark var den befintliga grönskan 2003 obetydlig med ett undantag från fyra fem större tysklönnar vid det gamla Eternitkontoret. Däremot i den nordvästliga delen av planområdet existerar en strandskog med tall och björk, som sedan sprider sig vidare norrut längs kuststräckan. Strandskogen skapar tidvis ett vindskydd i områdets nordvästliga hörn, men annars saknades ett omfattande grönvolym av betydelse inom det aktuella planområdet 2003. På så sätt har det varit en brist på ursprunglig och etablerad grönska som kan skapa lä och solskydd inom Lomma Hamn från områdets tidiga utveckling.



Fig. 10. Lomma Hamn illustrationsplan i klassisk rutnätstadsmodell med ett vinkelrätt vägnät och med slutna kvarter och innergårdar .

Det havsnära läget och Lomma Hamns mikroklimat skapar platsspecifika förutsättningar för miljömålens genomförande – att skapa energieffektiva hushåll, ekonomiskt hållbara byggnader, en levande stadsdel med vacker och långsiktigt hållbar grönska. Genom att utgå från det befintliga mikroklimatet har det grundliggande syftet för projektet varit att studera hur grönstrukturen i Lomma Hamn kan bidra till ett bättre mikroklimat med ”spinoff-effekter” på områdets miljömål som rör en levande stadsdel, ekonomiskt hållbara byggnader och möjligheter att inverka på byggnadernas energieffektivitet. En klimatmodell, ENVImet, har använts för att påvisa vegetationens inverkan på mikroklimatet i Lomma Hamn, där en rad simuleringar genomförts, först utifrån den aktuella illustrationsplanen och därefter utifrån alternativa förslag på grönska och placering av denna. Modellen har byggts utifrån de åtta kvarter som är placerade längst ut mot Öresund och som var de första kvarteren som byggdes i Lomma Hamnåren 2003-2004. Dessa utgör en yta på totalt 7,5 hektar (fig. 11). Förutom Lomma Hamn illustrationsplan och kvalitetsprogram utgjorde fältstudier, samtal med boende, byggherrar och kommunrepresentanter informationsunderlaget till klimatmodelleringen.



Fig. 11. Testområdet på 7,5 hektar som ingår i klimatsimuleringen.

3.2.2 ENVImet klimatsimulering

ENIVmet är ett simuleringsprogram som bygger på en tre-dimensionell modell som beräknar samspelet mellan klimatbundna faktorer, markfuktighet och ytor i stadslandskapet (Bruse, 2007). Programmet skapades 1999 och har använts i flertalet svenska och internationella studier och på så sätt behandlat en rad olika klimatförhållanden i urbana miljöer (t.ex. i Jansson, 2006; Bruse, 2007; Ng m.fl., 2012). Versionen som har använts i denna studie är ENIVmet 3.1 från 2008.

Simuleringen utgick ifrån två principiella parametrar – dels klimatdata, dels geometrisk och strukturell data över marktäcken, huskroppar, vegetation, jordstruktur etc. Den meteorologiska inputdatan bestod i medelvärden för områdets lufttemperatur, luftfuktighet, vindstyrka och vindriktning samt molntäcken på olika höjder över havet. Även den direkta och diffusa solstrålningen ingick i beräkningen där simuleringen utgick från områdets geografiska läge med hänsyn till latitud och longitud samt molntäcke. Två dygn på året valdes för simuleringen – en dag i januarimånad och en dag i juli. Simuleringen kördes sedan från kl. 05.00 på morgonen fram till kl. 21.00 på kvällen för båda dagarna.

För ytskikt och för huskroppar angavs sedan ett albedovärde samt för marktäcken en beskrivning av ytans struktur – d.v.s asfalt, betong, grus, gräs etc. Den metriska datan matades sedan in som geometriska figurer på ett rutnätsunderlag där också höjden på byggnaderna kunde bestämmas (fig. 12). Träd och buskars karaktär och kvalitet bestämdes med hjälp av arternas specifika 'leaf area index' (projicerad bladmassa/yta) och hänsyn togs till städsegröna samt lövfällande arter. Eftersom simuleringen skulle köras dels för en sommardag och del för en

vinterdag, användes en rad referenser som möjliggjorde att sommaren leaf area index-värden kunde räknas om till ett branch area index för vintertid, d.v.s. sommarens bladmassa ersattes av ett glesare grenverk (Lieffers m.fl., 1999; Nowak, 1996; Breuer, 2003; Nock m.fl., 2008; Larsson, 2011). Under sommarhalvåret varierar arterna med olika typer av bladtäthet och bladtextur, medan det under vintertid blir grenuppbyggnaden som utgör den stora skillnaden. Tydliga exempel kan t.ex. vara poppelns täta grenuppbyggnad i jämförelse med katalpan som har en betydligt glesare grenuppbyggnad (fig. 13). Eftersom vi i vårt nordiska klimat måste tillvarata solens strålning vintertid då denna påverkar både byggnadernas energiförbrukning och ett behagligare mikroklimat utomhus, så spelar trädens varierande kronuppbyggnad en roll i detta avseende. I de miljöer där vi vistas i utomhus och nära fasader som vetter mot söder, kan därför arter som har en god beskuggning sommartid och en god ljusgenomsläpplighet vintertid fungera som strategiska växtmaterial. Längs gator och runt husknutar blir istället pelarformade träd med en tätare grenuppbyggnad användbart i att fånga upp och jämna ut vindflödet.



Fig.12. Utdrag från ENVImet modelluppbyggnad utifrån den aktuella illustrationsplanen.



Den första simuleringen utgick från det befintliga artvalet av träd, buskar, perenner och marktäcken samt hur dessa var placerade längs gatunätet, på innergårdarna och i parken. Resultaten från den första klimatsimuleringen, som visade på vindutsatta platser samt områden med en markant marktemperatur och värmestrålning, användes sedan som underlag till efterföljande simuleringar. På så sätt kunde en strategisk analys fastställa för vilka platser och med vilket växtmaterial alternativa förslag kunde ges.

Fig.13. Trädkronornas grenuppbyggnad skiljer sig åt i täthet och detta har i sin tur inverkan på filtrering av vind och utjämning av vindflöde. Här visas skillnaden på katalpa och pelarpoppel. Foto: Henrik Sjöman

Nedan följer en sammanfattad redovisning av de preliminära resultaten där simuleringen av vinterhalvåret redogörs utifrån vindens inverkan på mikroklimatet och sommarhalvåret utifrån den sammanlagda strålningstemperaturens och marktemperaturens inverkan. Samtliga resultat utgår från kl. 12.00 vid båda dagssimuleringarna.

3.3 Resultat

3.3.1 Vinterhalvår – vind

Resultaten från simuleringen för vinterhalvåret och för den aktuella illustrationsplanen visar på hur vindstyrkan på en två meters höjd varierar inom området från under 0,5 m/s upp till ca 5m/s. Dessa markeras från blått till starkt rödrosa i (fig. 14). Den befintliga vegetationen längs gatunätet bidrar inte med en avsevärd utjämningseffekt av vindflödet. En viss reducering av vindhastigheten skapas dock utmed strandskogens östra kant och i vissa delar av parkområdet. Platser som punktvis är utsatta för ett starkt vindsug finner man dels längs Strandpromenaden och gatukilarna som löper i öst-västlig riktning, samt runt om gamla Eternitkontoret (fig. 14). De mest vindstilla platserna hittar man på innergårdarna.

Resultaten från den andra simuleringen med alternativt växtmaterial visar istället att en strategisk placering av växtmaterial och med en större hänsyn till grenuppbyggnad och flerskitad växtkomposition kan jämna ut vindflödet och hastigheten genom området. Förutom längst ut mot strandremsan ligger nu vindhastigheten mellan 1-3 m/s i området. Innergårdarna visar fortfarande på de mest vindstilla platserna (fig. 15).

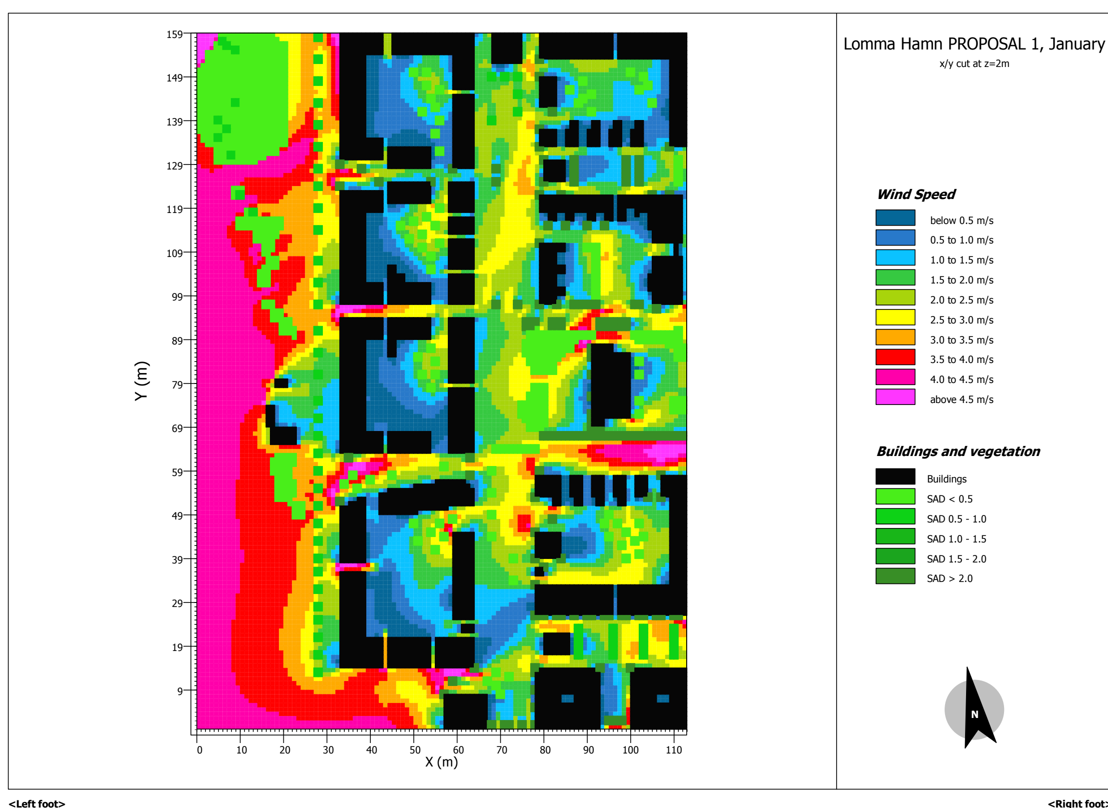


Fig. 14. Simuleringsresultat över vindstyrka på 2 meters höjd gällande aktuell illustrationsplan under vinterhalvåret. De mest vindutsatta platserna visar en styrka på över 4.5 m/s medan de blåmarkerade områdena visar på en obefintlig vindhastighet mellan <0,5 – 1m/s.

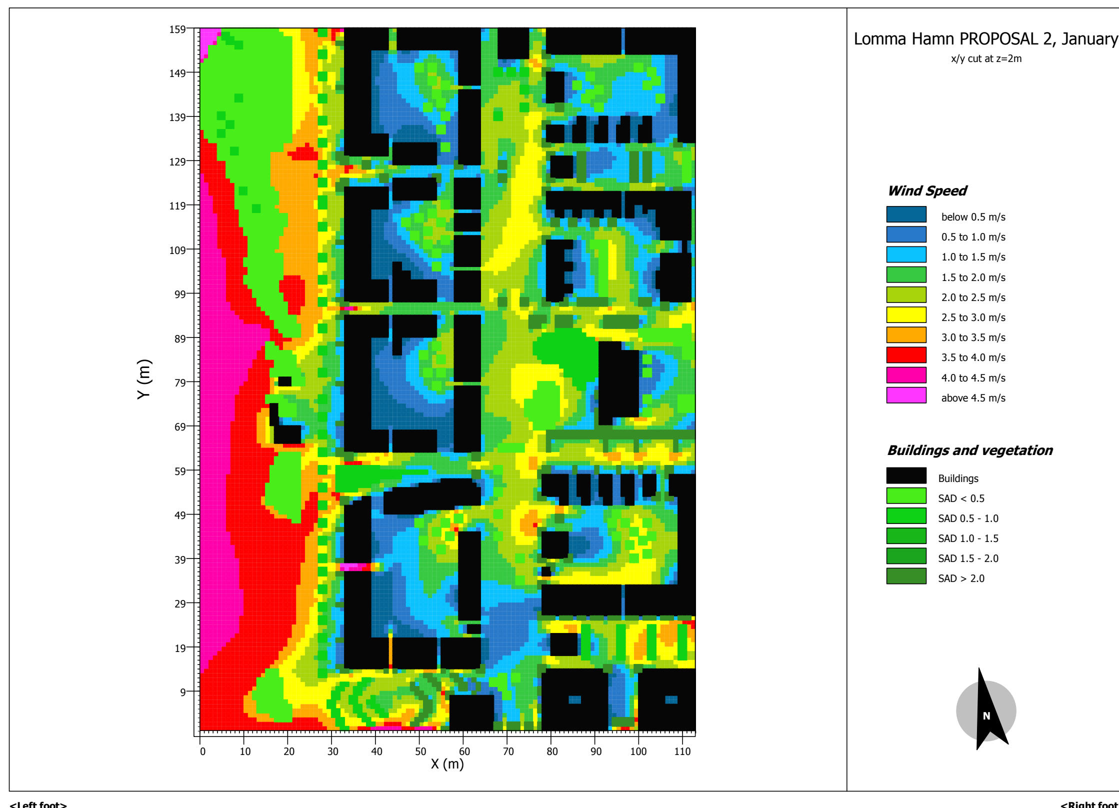


Fig. 15. Simuleringsresultat över vindstyrka på 2 meters höjd gällande alternativt förslag under vinterhalvåret. Med hjälp av strategiskt placerat växtmaterial och artval har vindstyrkan jämnats ut på platser som tidigare varit utsatta av en högre vindhastighet.

3.3.2 Sommarhalvår – sammanlagd strålningstemperatur och marktemperatur

Den sammanlagda strålningstemperaturen är det sammanlagda temperaturvärdet från den värmestrålning som utstrålas från vår omgivning – d.v.s. den långvågiga strålningen från fasader, markytor, vegetation, samt den diffusa solstrålningen. Man kan säga att det är den sammanlagda strålningstemperaturen som påverkar hur vi upplever komforten i mikroklimatet.

Resultatet utifrån den aktuella illustrationsplanen under sommarhalvåret visar på mycket höga värden framförallt längs strandkanten men även på innergårdarna (fig. 16). Jämför man den sammanlagda strålningstemperaturen från t.ex. parkområdet, strandskogen och strax under trädbestånden ser man att värden för dessa miljöer skiljer sig åt med upp till 43°C.

Marktemperaturen i fallstudieområdet utifrån den aktuella illustrationsplanen ligger som högst mellan 36-42°C, och detta kan utläsas runt Tullhustorget, vid den östra entrén vid gamla Eternitkontoret, på parkeringsplatserna samt längs med de fasader som vetter mot öst. Marktemperaturerna i de områden som består av en omfattande grönska visar däremot på marktemperaturer mellan 17-23°C. Marktemperaturen i Strandskogen understiger däremot 17°C - på så vis kan man se att det kan skilja på runt 25°C mellan en plats utan växtlighet och en plats med omfattande grönska (fig. 17).

I förslaget med alternativt växtmaterial har den sammanlagda strålningstemperaturen samt marktemperaturen sjunkit. På innergårdarna har den sammanlagda strålningstemperaturen minskat med ca 22°C och marktemperaruten med runt 9-10°C. Även marktemperaturen på

gatorna är lägre (med ca 2-3°C) på vissa platser i det alternativa förslaget jämfört med dagens förhållande utifrån illustrationsplanen (fig. 18).

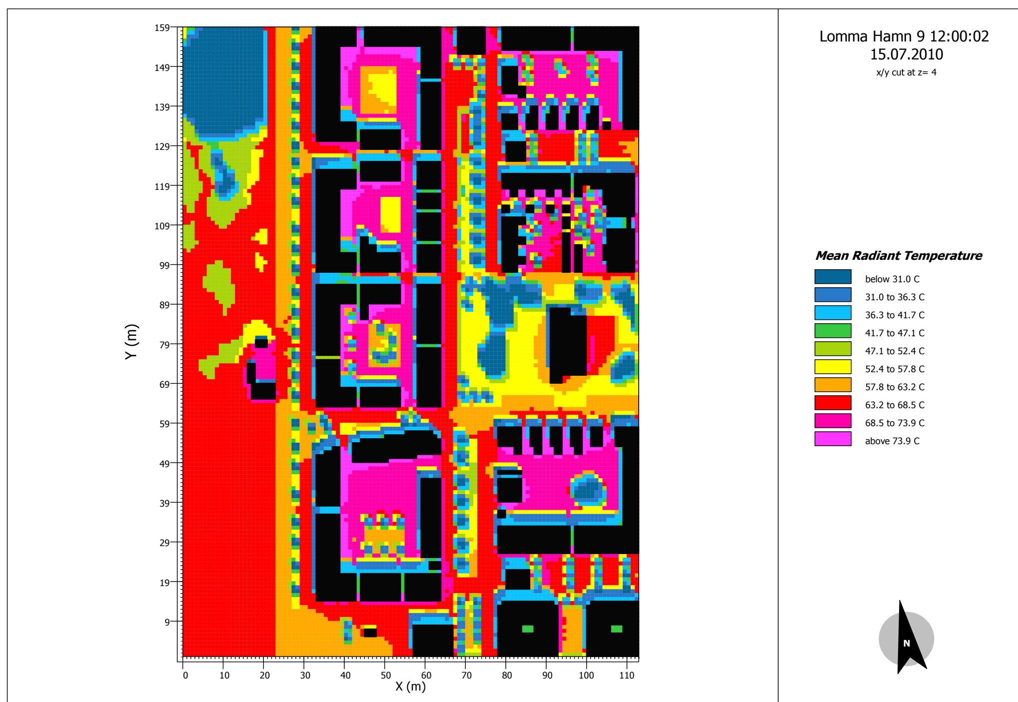


Fig. 16. Den sammanlagda strålningstemperaturen i juli månad baserat på aktuell illustrationsplan.

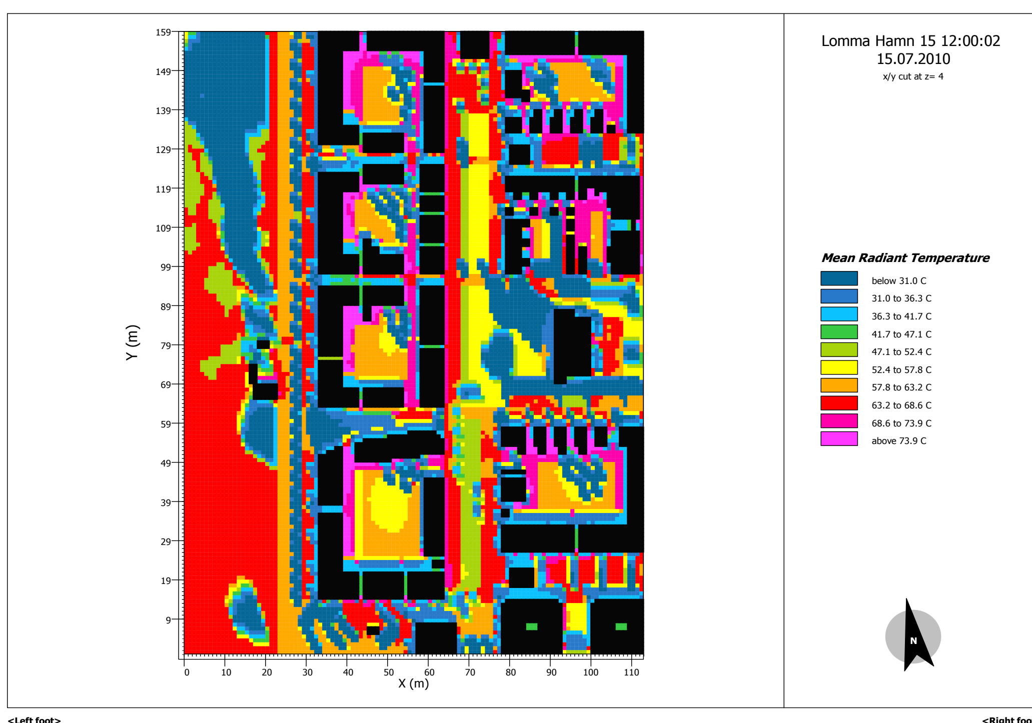


Fig. 18. Den sammanlagda strålningstemperaturen i juli månad baserat på förslag med alternativt växtmaterial samt alternativa placeringar.

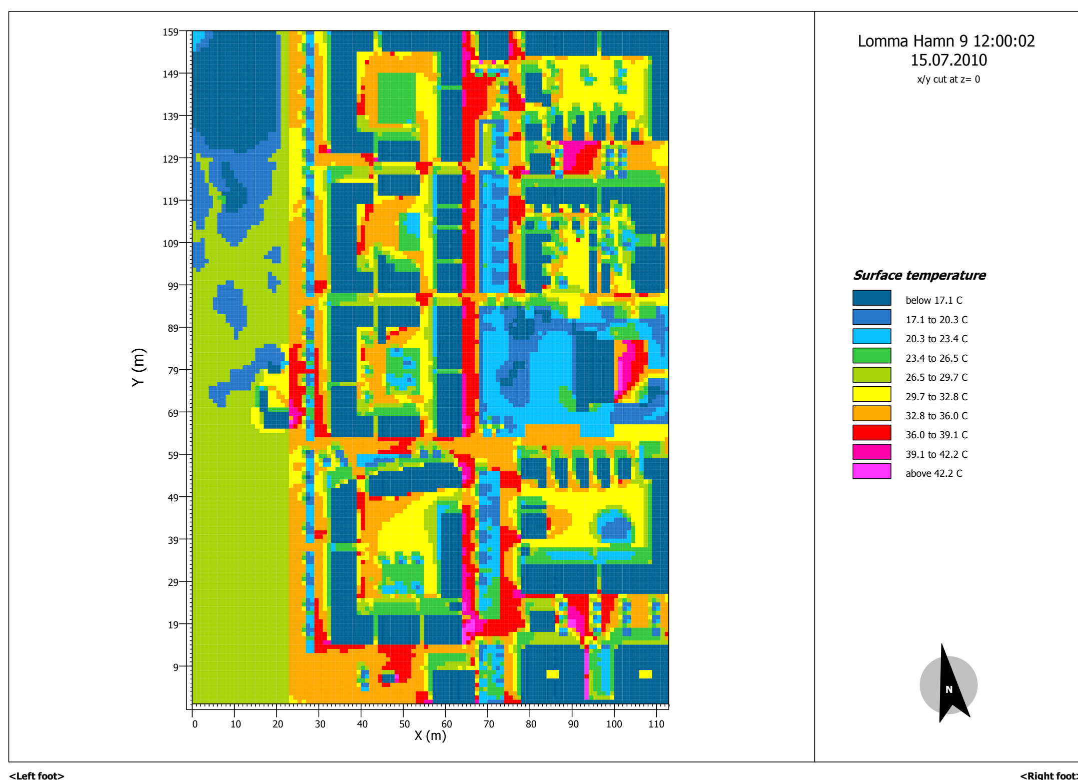


Fig. 17. Marktemperaturen i juli månad baserat på aktuell illustrationsplan.

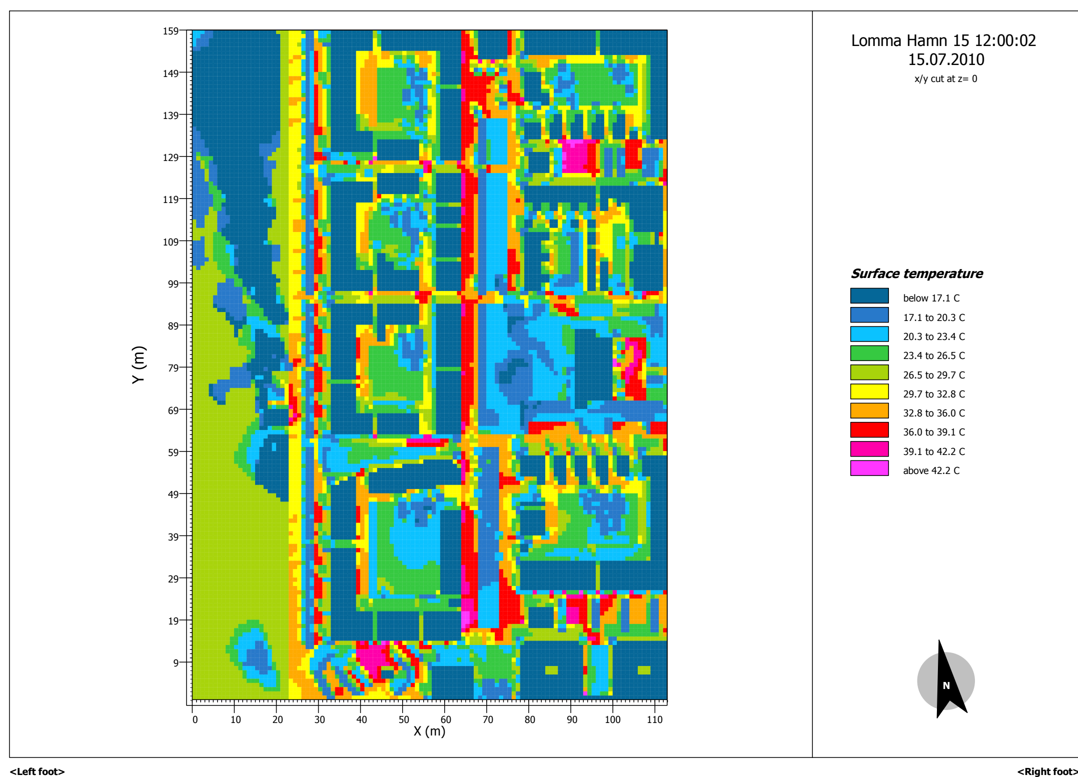


Fig. 19. Marktemperaturen i juli månad baserat på alternativa växtmaterial och alternativa placeringar.

4 Diskussion

Resultaten visar på att vegetation har en direkt inverkan på mikroklimatet med hänsyn till vind, marktemperatur samt den sammanlagda strålningstemperaturen. När det kommer till marktemperaturer och sammanlagd strålningstemperatur är det framförallt strax under trädens krontak som effekten blir som störst. Vad avser vindstyrkan och en reducering av denna visar simuleringen att det är först när kronverket blir tätare men framförallt träd med höjder upp mot 20 meter, som en märkbar skillnad kan observeras. I skrivande stund genomförs ytterligare analys av resultaten och fler simuleringar är planerade för den närmsta framtiden. Den största utmaningen med modelleringsarbetet har varit att ta fram korrekta värden för grenverkens uppbyggnad vintertid, eftersom dessa saknas i den förvalda tabelldatan som ingår i ENVImet. Därutöver visade sig också att programmet hade svårigheter med simuleringen när alltför många vegetationskombinationer användes inom fallstudieområdet. Resultaten som redovisas i den här slutrapporten har därför tagit många dagar och timmars arbete att genomföra då en simulering kan ta upp till 6 dagar att slutföra. De senare versionerna har dock visat sig lättare för programvaran att hantera och simuleringstiden har endast pågått i 2-3 dygn.

ENVImet simuleringen kan inte visa på hur vegetationen inverkar på inomhusklimat och byggnaders energieffektivitet. En sådan tolkning får därför göras utifrån relevant litteratur i ämnet, t.ex. forskning från McPherson m.fl. 1994 och Akbari med kollegor från 2001. Samtal med Hans Bagge som doktorerat inom byggnaders energiförbrukning och inomhusklimat, LTH Lunds universitet, har också lett fram till nya aspekter över grönskans roll på energiförbrukning beroende byggnaders ventilationssystem. Eventuellt framtida samarbete med Bagge är under diskussion.

Däremot går det med hjälp av resultaten från ENVImet simuleringarna att koppla grönskans roll i att skapa ett bättre utomhusklimat, som i sin tur påverkar komforten och hälsoaspekter för boende och besökare. Vidare analys över detta kommer också att genomföras under våren 2013 där möjligheter finns att ta fram ytterligare värden för upplevd komfort (PET – physical equivalent temperature). Detta planeras ingå i den vetenskapliga artikel som idag är påbörjad tillsammans med Erik Johansson på LTH vid Lunds universitet.

5 Spridning av resultat

5.1 Konferenser, seminarium och workshops

Syftet och resultaten från båda studier har hittills presenterats på en rad konferenser, seminarium och workshops i Sverige samt utomlands. Ändamålet med samtliga föredrag och presentationer har varit att försöka nå en bred publik inom hållbart stadsbyggande och forskning. Samarbetet med Lomma kommun har i detta avseende varit mycket lärorikt och också produktivt eftersom det har varit möjligt att använda resultaten från projektet i det direkta arbetet med utvecklingen av uppföljningsverktyget för Lomma Hamn. Förutom själva verktyget som består i en enkät riktat till varje byggherre efter slutfört kvartersbyggande, har resultaten från projektet också kunna inkluderas i en workshop hösten 2012, där samtliga aktörer inom plan- och byggprocessen i Lomma Hamn medverkade. På så sätt har det varit möjligt att diskutera med de verksamma för Lomma Hamns utveckling hur resultaten kan värderas för hållbart stadsbyggande samt genomföras i mer tätbebyggda bostadsmiljöer samt påverka framtida synsätt på grönstruktur, materialanvändning och konstruktion inom byggbranschen.

Projektet har även fungerat som en viktig språngbräda i samarbetet med FOJAB arkitektkontor i Malmö, november 2012, inför en presentation av ett utvecklingsförslag för Lindholmen i Göteborg där dagvattenfrågan var i särskilt fokus.

Konferenser, seminarium och workshops har varit:

Community Adaptation Training. 2 september 2010, Liverpool, Storbritannien. Workhop arrangerad av Susannah Gill vid the Mersey Forest Org. Medverkande i workshop med deltagare från brittiska kommunkontor, naturvårdsverk, ideella organiationer, och forskare.

Urban Dendrology. Alnarp, 24-25 januari 2011. Posterpresentation vid heldagsseminarium med deltagande av internationella forskare. Seminariet vände sig till främst kommuner och konsulter verksamma inom hållbart stadsbyggande och växtteknik i Sverige.

Strategi för en grön struktur i Skåne. Region Skåne, 21 mars 2011. Muntlig presentation vid kick-off seminarium riktat till kommuner, statliga organisationer, konsulter etc.

3rd International Conference on Landscape and Urban Horticulture, Nanjing, Kina, 29 juni – 3 juli 2011. Muntlig presentation vid konferens för internationella forskare.

Dagvatten och Dräneringsvatten. Alnarp, 19-20 oktober 2011. Posterpresentation vid seminarium för kommuner, länsstyrelser, konsulter och forskare i Sverige.

Urban Flooding – Planning for a Blue Green City. 14-15 mars 2012. Flyers/information om projektet.

Mera regn. Serviceförvaltningen Malmö stad, 19 april 2012. Muntlig presentation vid seminarium riktad till anställda vid Malmö stad serviceförvaltning.

City Plantastic! 8th World in Denmark conference. 28 juni 2012. Muntlig presentation vid konferens för internationella forskare.

Grönstrukturens betydelse för hållbar stadsutveckling i Lomma Hamn. Lomma kommun, 1 november, 2012. Muntlig presentation vid workshop riktad till samtliga aktörer inom Lomma Hamn plan- och byggprocess.

Start- och halvtiddseminarium för doktorandprojekt vid Sveriges Lantbruksuniversitet, Alnarp, september 2010 och oktober 2012.

Kommande heldagsseminarium med FOJAB arkitektkontor med fokus på dagvattenfrågor, februari 2013.

5.1.2 Publikationer

Studien ingår idag i en doktorsavhandling med planerad disputation våren 2014. Därmed utgör projektet och resultaten stommen i två av fyra vetenskapliga artiklar inom avhandlingen:

The residential green matrix - an integrated planning approach in reducing surface runoff
Huvudförfattare Johanna Deak Sjöman, medförfattare Susannah Gill, (the Mersey Forest, Honorary Research Fellow University fo Manchester, Storbritannien). Artikeln är i skrivande stund inskickad som manus till den vetenskapliga tidskriften Urban Forestry and Urban Greening.

Microclimatic qualities of local green structure – measuring green space capacity in urban development
Huvudförfattare Johanna Deak Sjöman, medförfattare Erik Johansson (Arkitektur och bebyggd miljö, LTH, Lunds Universitet). Artikeln är under bearbetning

Landscape resilience and the role of the urban green matrix
Huvudförfattare Johanna Deak Sjöman, medförfattare Jack Ahern (University of Massachusetts, Amhurst, USA) och Ingrid Sarlöv-Herlin (SLU, Alnarp). Artikeln är under bearbetning.

Förutom vetenskapliga artiklar presenteras resultaten även i följande populärvetenskapliga publikationer:

Mer än bara yta – gränsöverskridande dagvattenhantering i det urbana landskapet. Movium Magasin nr 2/2012.

Mer än bara yta – gränsöverskridande dagvattenhantering i det urbana landskapet. Movium Faktablad nr 1/2013 – med planerad publicering i januari 2013.

Gröna vingslag i vardagslandskapet. Skrift i kommande publikation *Landskapet och Skissen*, planerad publicering under 2013.

Referenser

Akbari, H., Pomerantz, M., Taha, H. (2001) Cool surfaces and shade trees to reduce energy use and improve air quality in urban areas. *Solar Energy*, 70, 295-310

Alberti, M., Marzluff, J. M., 2004. Ecological Resilience in urban ecosystems: Linking urban patterns to human and ecological functions. *Urban Ecosystems*, 7, 241-265.

Bartens, J., Day, S. D., Harris, R., Dove, J. E., Wynn, T. M., 2008. Can Urban Tree Roots Improve Infiltration through Compacted Subsoils for Stormwater Management? *Environmental Quality*, 37, 2048-2057.

Blomgren, S., Hanson, H. 1999. *Hydrografiska och morfologiska processer runt Falsterbohalvön. Nuvarande situation, framtida scenarier och föreslagna åtgärder*. Rapport 3226. Institutionen för teknisk vattenresurslära. Lunds Tekniska Högskola (LTH). Lund, Sverige

Breuer, L., Eckhardt, K., Frede, H-G. (2003) Plant parameter values for models in temperate climates. *Ecological Modelling,* 196, 237-293.

Bruse, M. (2007) Simulating human thermal comfort and resulting usage patterns of urban open spaces with Multi Agent System. Proceedings of the 24th International Conference on Passive and Low Energy Architecture PLEA 699-706.

Bucht, E. and Schlyter, T. (1976), *Klimatet i nya bostadsområden,* 20:1976, Statens institut för byggnadsforskning, Gävle.

Ciscar, J.C., Iglesias, A., Feyen, L., Goodess, C.M., Szabó, L., Christensen, O.B., Nicholls, R., Amelung, B., Watkiss, P., Bosello, F., Dankers, R., Garrote, L., Hunt, A., Horrocks, L., Moneo, M., Moreno, A., Pye, S., Quiroga, S., van Regemorter, D., Richards, J., Roson, R., and Soria, A., 2009. *Climate Change Impacts in Europe*. Final Report of the PESETA research project, EUR24093EN – Joint Research Centre – Institute for Prospective Technological Studies, European Commission. Retrieved November 18, 2011 from http://ftp.jrc.es/EURdoc/JRC55391.pdf

Christiansson, H., 2012. JM Developers of Housing and Residential Areas. (Email och muntligt samtal 2011-12-13).

Colding, J. 2011 The Role of Ecosystems Services in Contemporary Urban Planning. In: *Urban Ecology – patterns, processes, and applications.* Editor Jari Niemelä, Oxford University Press

CORBURN, J. (2009) Cities, Climate Change and Urban Heat Island Mitigation: Localising Global Environmental Science. *Urban Studies* 46, 413-427

Dahlström, B., 2006. *Rain intensity in Sweden – a climatological analysis*. VA-forsk, Report 2006-26, Svenskt Vatten AB, Stockholm.

Deak, J., Bucht, E., 2011. Planning for climate change – the role of indigenous blue infrastructure, with a case study in Sweden, *Town Planning Review*, 82(6), 669-685.

European Union 2007 *Directive 2007/60/EC – on the assessment and management of flood risk* 2008-04-08 Online: http://www.ec.europa.eu (accessed 8 April 2008).

Edman, David 2009 i Nu ska notan efter skyfallet betalas, artikel i Skånska Dagbladet av Marianne Pernbro, 18 januari 2009.

Edén, M., Falkheden, L., Malbert, B. 2000 The Built Environment and Sustainable Development: Research Meets Practice in a Scandinavian Context. *Planning Theory & Practice*, 1, 259-284.

Eliasson, I. 2000 The use of climate knowledge in urban planning. *Landscape and Urban Planning*, 48, 31-44.

Florgård, C., Palm, R. 1980 *Vegetationen i dagvattenhanteringen*, Rapport Naturvårdsverket.

Foltýn, A-M., 2011. Mångfunktionella ytor – system för framtiden. Länsstyrelsen Skåne Konferensseminarium, Dagvatten och Dräneringsvatten, 19-20 October 2011, Alnarp.

Garen, D. C., Moore, D. S., 2005. Curve number hydrology in water quality modeling: uses, abuses, and future directions. *Journal of the American Water Resources Association* (JAWRA). 41(2), 377-388.

Gunder, M., Hillier, J. (2007) Problematising responsibility in planning theory and practice: On seeing the middle of the string? *Progress in Planning*, 68, 57-96.

Gill, S. E., 2006. *Climate Change and Urban Greenspace*, Doktorsavhandling, the University of Manchester, School of Environment and Development, UK.

Glaumann, M., Westerberg, U. 1988 *Klimatplanering Vind,* Statens institut för Byggnadsforskning, Tryck & Reklamservice AB, Åkersberga.

Gustavsson, R., Ingelög, T. 1994 *Det nya landskapet – kunskaper och idéer om naturvård, skogsodling och planering i kulturbygd*. Skogsstyrelsen, Jönköping.

Goddard, M.A., Dougill, A.J., Benton, T.G., 2009. Scaling up from gardens: biodiversity conservation in urban environments, *Trends in Ecology and Evolution*, 25(2), 90-98.

Grahn, P., Stigsdotter, A. U. 2003 Landscape planning and stress. *Urban Forestry & Urban Greening* 2 001-018

Hagstrand, P., 2012. VA-SYD, Malmö och Lund (Telefonsamtal augusti 2012).

Hamin, E. M., Gurran, N. (2009) Urban form and climate change: Balancing adaptation and mitigation in the U.S. and Australia, *Habitat International,* 33, 238-245.

Hansard (2008), *Publications and Records* 2008-07-29 Online: http://www.publications.parliament.uk

Helt Nytt Boende, 2012-12-10, Online: http://heltnytt.se/stad.php?categoryid=6

Höje å vattenråd, 2012, Om Höje å vattenråd 2012-11-10 Online http://www.hojea.se/Vattenraadet.htm

IPCC (The Intergovernmental Panel on Climate Change), 2007. IPCC Fourth Assessment Report, Working Group I Report: *"The Physical Science Basis", Chapter 5 Observations: Oceanic Climate Change and Sea Level,* 2012-12-02 Online: http://www.ipcc.ch/publications_and_data/ar4/wg1/en/contents.html

Jansson, C. 2006 *Urban Microclimate and Surface Hydrometeorological Processes.* PhD-Thesis, KTH Architecture and the Built Environment, Stockholm.

Johansson, E. 2011 Urban Climate & Sustainable development fo the built environment. Lecture held at Lund University January 21st 2011.

J&W, 1998. *Lomma Hamn, Lomma – Fördjupad miljöteknisk markundersökning*. Rapport, Malmö.

Krook, J. (1999) *Skånes jordbrukslandskap berikas.* News Release 4(4) 1999, Biodiverse, Centrum för Biologisk Mångfald, Uppsala.

Larsson, A. (2011) *Stadsträds transmissivitet av direkt solstrålning.* Master Thesis, Swedish University of Agricultural Sciences, Alnarp.

Leifman m.fl., 2009 *Provprojekt i stadsförtätning*. Bygga-bo-dialogen, Malmö Stadsbyggnadskontor.

Levin, S. A. (1998) Ecosystems and the Biosphere as Complex Adaptive Systems. *Ecosystems,* 1, 431-436.

Lidström, V., Glivesson, P., 2011. *Dagvatten Lomma Hamn*. Rapport. Ramböll Management Consulting, Malmö.

Lieffers, V. J., Messier, C., Stad K. J., Gendron, F., Comeau, P. G. 1999 Predicting and managing light in the understory of boreal forests. *Canadian Journal for Research,* 29, 796-811.

Lindholm, G. 2012 Swedish University of Agricultural Sciences, Department of Landscape Architecture. Email i november 2012.

Lomma kommun, 2003 *Lomma Hamn – en ny stadsdel vid Öresund*. Miljöprogram för stadsdelens bebyggelse och utformning. 2009-04-24 Online: http://www.lomma.se/download/18.7a48a90b12c665dedb4800019436/1294756315911/Milj%C3%B6program+Lomma+hamn.pdf

Lundgren Alm, E. (2001) *Stadslandskapets obrukade resurs. Om grönstrukturens potential och synliggörande i en hållbar stadsutveckling.* CTH, Göteborg.

Lundgren Alm, E., Korhonen, P., Castell, P., Tornberg, J., Malbert, B. 2004 *Grönstrukturens synliggörande – En förutsättning för integration av kunskaper om grönstrukturen i stadsplaneringen*. Slutrapport. Chalmers tekniska högskola, Göteborg.

Lunds kommun 2010 Stadsbyggnadskontoret, Översiktsplan 2010, Del 1. 2011-02-09 Online: http://www.lund.se

Länsstyrelsen 2009 *Bostadsläget i Öresundsregionen.* Final Report. Länsstyrelsen i Skåne Län. Online: http://www.lansstyrelsen.se/skane/SiteCollectionDocuments/Sv/nyheter/2009/BostadslagetiOresundsregionenSlutrapport.pdf 2012.01.04

Nilsson, P., 2012 Tekniska förvaltningen, VA, Lomma kommun. Email och muntligt samtal i november 2011 – augusti 2012.

Mansell, M., Rollet, F., 2006 Water balance and the behavior of different paving surfaces. *Water and Environmental Journal*, 20, 7-10.

McPherson, E. G., Nowak, D. J., Rowntree, R. A. 1994 *Chicago's Urban Forest Ecosystem: Results of the Chicago Urban Forest Climate Project.* United States Department of Agriculture Forest Service, Northeastern Forest Experiment Station, General Technical Report N E- 1 86.

Mills, G. 2006 Progress toward sustainable settlements: a role for urban climatology. *Theoretical and Applied Climatology*, 84, 69-76.

Ng, E., Chen, L., Wang, Y., Yuan, C. 2012 A study on the cooling effects of greening in a high-density city: An experience from Hong Kong. *Building and Environment*, 47: 256–271

Nock, C. A., Caspersen, J. P., Thomas, S. C. 2008 Large ontogenetic declines in intra-crown leaf area index in two temperate deciduous tree species. *Ecology,* 89(3), 744-753.

Novotny, V., Ahern, J., Brown, P., 2010 *Water Centric – Sustainable Communities. Planning, retrofitting, and building the next urban environment.* Wiley & Sons, New Jersey.

Nowak, D. J. 1996 Estimating Leaf Area and Leaf Biomass of Open-Grown Deciduous Urban Trees. *Forest Science,* 42(4), 504-507.

NRCS, 1986. *Urban Hydrology for Small Watersheds*. Technical Release 55. United States Department of Agriculture, Natural Resources Conservation Service. Retrieved December 19, 2012 from http://www.mi.nrcs.usda.gov/technical/engineering/neh.html

Oke, T. R. 1988 Street Design and Urban Canopy Layer Climate, *Energy and Building,* 11, pp. 103-113.

Oke, T. R. (2006) Toward better scientific communication in urban climate. *Theoretical and Applied Climatology*, 84, 179-190.

Opdam P., Steingröver, E., van Rooij, S. (2005) Ecological networks: A spatial concept for multi-actor planning of sustainable landscapes. *Landscape and Urban Planning,* 75, 322-332.

Parlow, E. 2011 Urban Climate. In: Niemelä, J. *Urban Ecology – patterns, processes and applications*. Oxford University Press, 2011.

Pauleit, S., Duhme, F. 2000 Assessing the environmental performance of land cover types for urban planning, *Landscape and Urban Planning,* 52, 1-20.

Persson, A., Folkesson, M-L., Björn, H., 2012. Lund, Staffanstorp och Lomma kommunkontor. Email och muntliga samtal i november 2011 – january 2012.

Persson G., Sjökvist E., Åström S., Eklund D., Andréasson J., Johnell A., Asp M., Olsson J., Nerheim S., 2012 *Klimatanalys för Skåne län*, Rapport Nr 2011-52, SMHI på uppdrag åt Länsstyrelsen Skåne län.

Reuters, 2012 UK insurers fear enforced cover for flood risk. Artikel online:
http://www.reuters.com/article/2012/11/28/insurance-floods-idUSL5E8MS6EF20121128

Sahlén, J. 2011 *Översvämningsskador – drivkrafter, utmaningar och möjligheter för ett utökat skadeförebyggande arbete – en fallstudie på Länsförsäkringar Skåne, Eslövs kommun, Lunds kommun, Lomma kommun och Staffanstorps kommun.* Examensarbete, Lunds universitet.

Shashua-Bar, L., Hoffman, M.E. 2000 Vegetation as a climatic component in the design of an urban street An empirical model for predicting the cooling effect of urban green areas with trees. *Energy and Building,* 31, pp. 221-235.

Sieghardt, M., Mursch-Radlgruber, E., Paoletti Couenberg, E., Dimitrakopoulus, A., Rego, F., Hatzistatthis, A., Randrup, T., 2005 The abiotic urban environment: Impact of urban growing conditions on urban vegetation. In: Konijnendijk, C.C., Nilsson, K., Randrup, T.B., and Schipperijn, J., (Eds.). *Urban Forests and Trees*. Springer. 281-323.

Sjöman, H. 2012 *Trees for Tough Urban Sites – learning from nature*. Doctoral Thesis No. 2012:7, Faculty of Landscape Planning, Horticulture and Agricultural Sciences, Swedish University of Agricultural Sciences, Alnarp.

SMHI, 2010, *Korttidsnederbörd i Sverige 1995 – 2008*, Faktablad Nr 43 – 2010.

SCB, 2010 (Statistiska Centralbyrån) online: http://www.scb.se/Pages/PressRelease____331129.aspx

SCS, 1972. SCS *National Engineering Handbook* – Section 4: Hydrology. United States Department of Agriculture, Soil Conservation Service, Washington, DC.

SOU (Statens Offentliga Utredningar) 2007:60 *Sverige inför Klimatförändringarna – hot och möjligheter*. Stockholm

Ståhl, Ö., 2012. Test results from Narvavägen 2139, 2008-01-10, Stockholm. VIOSAB and the Swedish University of Agricultural Sciences. (In Swedish), (Email correspondence 2012-04-12).

Tregoning, H., Agyeman, J., Schenot, C. (2002) Sprawl, Smart Growth and Sustainability, *Local Environment,* 7(4), 341-347.

Upmanis, H. 1999 *Influence of parks on local climate*. Doktorsavhandling, Göteborgs universitet.

Wang, J., Endreny, T. A., Nowak, D. J., 2008. Mechanistic Simulation of Tree Effects in an Urban Water Balance Model. *Journal of the American Water Resources Association*. 44(1), 75-85.

Wastenson Leif, Fredén Curt, red (2002). *Sveriges nationalatlas. Berg och jord*. Vällingby: Sveriges nationalatlas (SNA). sid. 101. Libris 8814813. ISBN 91-87760-50-9 (inb.)

Worldbank, 2012 *Turn Down the Heat – why a 4°C Warmer World Must be Avoided*. A Report for the World Bank by the Potsdam Institute for Climate Impact Research and Climate Analytics, November 2012.

Åkerman, J., 2012. Dept of Physical Geography and Ecosystems Science, Lund University. Email och muntligt samtal i february 2012.